

Комплекс для определения энергетического эффекта от строительства новых гидроэлектростанций*

Сысоев А.А., Тягунов М.Г., Лазарева Н.В.

Кафедра гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии
Национальный исследовательский университет МЭИ
г. Москва, Российская Федерация
sasha_sysoev@mail.ru

Аннотация. В данной работе представляется описание и внешний вид программного комплекса, реализующего возможность проведения исследований каскадов с произвольной гидрологической схемой. Комплекс позволяет проводить водно-энергетические расчёты каскадов ГЭС, строящихся и модернизируемых ГЭС. С помощью комплекса можно определить энергетический эффект, т.е. увеличение выработки, каскада ГЭС за счёт строительства новой станции или модернизации существующей. Комплекс разрабатывается на языке программирования Python с помощью библиотеки PyQt5, оптимизация расчётов происходит с помощью метода динамического программирования. Расчёт проводится для стадии предпроектной оценки целесообразности строительства ГЭС. Для проведения расчётов были взяты данные для Камской ГЭС. Работа затрагивает вопросы применения данного комплекса в процессе обучения студентов и аспирантов в высших учебных заведениях.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, водно-энергетический расчёт, оптимизация режима работы, методы оптимизации.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из способов улучшения качества обучения студентов и аспирантов в высших учебных заведениях, а также повышения квалификации работников предприятий, является использование современных методов обучения и применение реальных данных для демонстрации сценариев поведения и расчётов [1].

В настоящее время в высших учебных заведениях процесс обучения стараются построить таким образом, чтобы студент, закончивший обучение в ВУЗе, был подготовлен по многим направлениям и был знаком с решениями проблем, с которыми он может столкнуться во время работы на различных должностях. Это достигается с помощью трансформации как учебных планов, так и трансформации учебных пособий и инструментов для проведения лабораторных работ, практических занятий.

С развитием научного прогресса и увеличения доступности вычислительных мощностей, в техническом образовании особую роль приобрело обучение инновационной деятельности и умению работать в команде [2]. Всё больше становится заданий для выполнения в небольших группах, если рассматривать различные тематические конкурсы в области гидроэнергетики, то взаимодействие идёт в группах по 4-5 человек, что соответствует неболь-

шуму отделу в реальной компании. В процессе обучения также используются вычислительные комплексы, реализованные студентами и сотрудниками различных ведомств для решения тех или иных задач, то есть для лабораторных работ специально создаются программные комплексы, позволяющие проводить конкретные расчёты.

Последние эпидемиологические события в России и мире показали, что процесс обучения может быть построен и реформирован для перехода на дистанционные форматы. Тем острее стоит проблема актуализации и модернизации существующих программных комплексов, используемых для обучения студентов в высших учебных заведениях [3-5].

На текущий момент, в российской науке слабо представлены комплексы, позволяющие проводить сложные водно-энергетические расчёты для гидроэлектростанций и каскадов гидроэлектростанций с произвольной гидрологической схемой, позволяющей проводить как исследовательские расчёты, так и позволяющие проводить оптимизацию водно-энергетического комплекса.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Реализуемый программный комплекс должен быть приспособлен для работы в различных гидроэнергетических системах с разной гидравлической схемой реализации каскада.

Реализуемый комплекс должен позволять следующее:

- проведение долгосрочных водно-энергетических расчётов для систем с различной гидравлической схемой;
- проведение среднесрочных водно-энергетических расчётов для систем с различной гидравлической схемой;
- проведение оптимизационных расчётов для полученных ранее данных;
- проведение анализа и расчёт энергетического эффекта от строительства новой гидроэлектростанции в существующем каскаде;
- расчёт энергетического эффекта от модернизации существующей гидроэлектростанции в рассматриваемом каскаде.

С помощью комплекса можно будет проводить как анализ новых гидроэнергетических систем, так и анализ модернизируемых комплексов. Комплекс рассчитывается на работу в не крупных гидроэнергетических комплексах и каскадах по следующим причинам:

* Работа выполнена в рамках проекта «Определение энергетического эффекта от строительства новых гидроэлектростанций в сложных гидроэнергетических системах» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика» в 2020-2022 гг.». Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", <https://icie-rus.org>

1) для крупных гидроэнергетических каскадов в Российской Федерации уже разработаны различные оптимизационные решения, программы, рекомендации, из-за чего реализуемый комплекс терялся бы в своих аналогах [6-9];

2) гидростанции малой мощности имеют меньше индивидуальных особенностей и их проще представить в виде схемы замещения, чем крупных гидростанций;

3) схемы замещения таких гидростанций при проведении водно-энергетического расчёта будет давать меньшую погрешность, чем аналогичные крупные каскады, что повышает качество получаемых результатов;

4) в настоящее время идёт тенденция на уменьшение установленной мощности объектов и переход к распределённой энергетической системе. Соответственно, текущая концепция будет более востребована в компаниях, занимающихся как эксплуатацией, так и проектированием гидроэнергетических систем [10-12].

Для использования комплекса в качестве инструмента для повышения качества обучения студентов и аспирантов, комплекс должен:

1) быть прост в понимании для работы и обучения работы с ним;

2) иметь большую функциональную составляющую и гибкую настройку исходных данных;

3) иметь различные варианты настройки системы ограничений для отработки различных сценариев;

4) Иметь возможность останавливать расчёт в произвольном месте и сохранять полученный результат для последующего анализа.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА

Для реализации программного комплекса в виде программы для персонального компьютера выбран язык программирования Python. Основной библиотекой для реализации служит библиотека PyQt5.

Так как реализуемый комплекс предполагается использовать в условиях реальной эксплуатации, а также для обучения студентов на кафедре гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», то необходимо использовать данные из реальных малых ГЭС. То есть для работы необходим полный набор данных по проектной и эксплуатационной деятельности гидроэлектростанции и каскада гидроэлектростанций. Единственным вариантом их получения является обращение в специализированные организации, занимающиеся либо проектной деятельностью гидроэлектростанций, либо эксплуатационной.

В Российской Федерации для получения такого рода данных необходимо обращаться к ПАО «РусГидро», ПАО «ТГК-1», АО «ЕвроСибЭнерго», АО «Системный Оператор», АО «Институт Гидропроект», АО «Ленгидропроект», ООО «МосОблГидропроект». Однако, эти данные представляют собой информацию, содержащую коммерческую тайну, поэтому предоставляются на основе специальных соглашений.

Для получения данных необходимо сужения круга используемых станций в части напоров, мощности и гидравлической схемы. Из анализа научных публикаций [6-9, 13, 14], можно отметить, что основной интерес учёных представляют крупные гидроэлектростанции, расположенные в каскаде и без него. Популярными каскадами являются

Волжско-Камский и Ангаро-Енисейский. Такие данные могут быть представлены ПАО «РусГидро» и АО «ЕвроСибЭнерго». Данные по станциям АО «ЕвроСибЭнерго» получить несколько сложнее, хотя часть из них можно найти в открытом доступе, однако, тогда теряется уникальность разрабатываемого проекта. В качестве вариантов могут быть использованы станции, располагаемые либо в каскадах на р. Кубань, либо каскады ГЭС ПАО «ТГК-1» в Ленинградской, Мурманской областях и Карелии.

Для выбора станций был проведён анализ открытых данных по гидроэлектростанциям ПАО «ТГК-1» [15]. В собственности у этой организации находится 37 гидроэлектростанций с общей установленной мощностью в 2871 МВт, расположенных в Ленинградской, Мурманской областях и в республике Карелия. Единичная установленная мощность станции варьируется от 11,2 МВт у гидроэлектростанции Кайтакоски ГЭС до 284 МВт у Верхне-Тулумской ГЭС. Общая карта с отметками станций представлена на рис. 1.

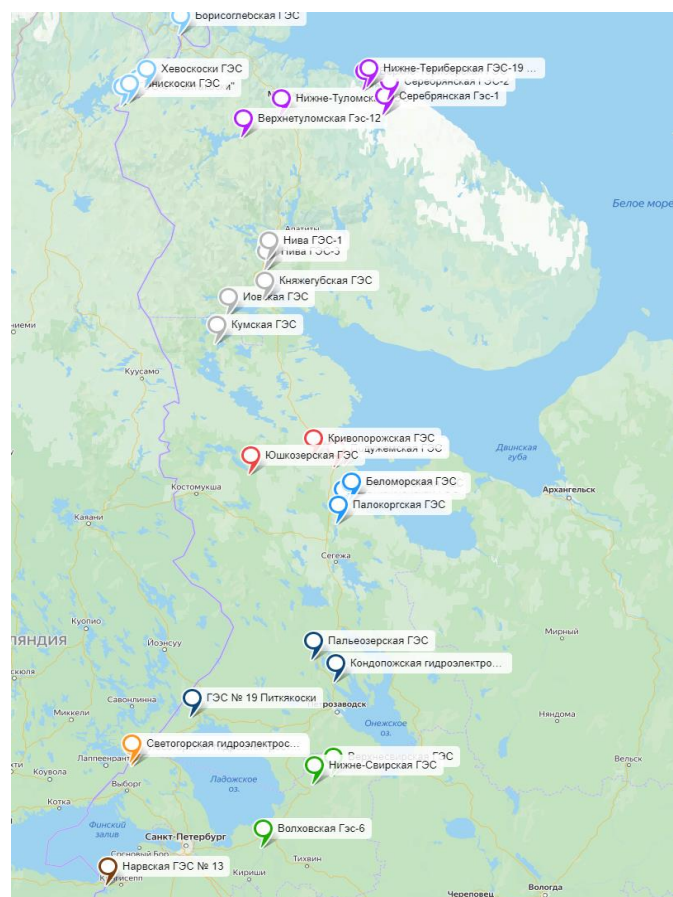


Рис 1. Станции, находящиеся в собственности ПАО «ТГК-1»

Сделана сводка станций с выделением названия каскада, мощности, выработки, коэффициента использования установленной мощности (КИУМ). Из общего списка выделены станции, подходящие для использования в программе.

Данные были сведены в табл. 1.

Таблица 1
Данные по станциям ПАО «ТГК-1»

Регион	Каскад	Название станции	Нуст, МВт	Выработка, млн. кВт.ч	КИУМ
Ленинградская область	Ладожских ГЭС	Нижне-Свирская ГЭС	99	499,10	0,5755
		Верхне-Свирская ГЭС	160	823,97	0,5879
Республика Карелия	Выгских ГЭС	Маткожненская ГЭС	63	375,00	0,6795
		Выгостровская ГЭС	40	233,00	0,6650
		Беломорская ГЭС	27	131,50	0,5560
		Палакоргская ГЭС	30	165,00	0,6279
	Кемских ГЭС	Путкинская ГЭС	84	396,00	0,5382
		Кривопорожская ГЭС	48	217,00	0,5161
Мурманская область	Нивских ГЭС	Нива ГЭС-1	24,9	132,06	0,6054
		Нива ГЭС-2	60	420,88	0,8008
		Нива ГЭС-3	155,5	908,54	0,6670
	Пазских ГЭС	Янискоски ГЭС	30,2	129,13	0,4881
		Раякоски ГЭС	43,2	246,03	0,6501
		Кайтакоски ГЭС	11,2	73,34	0,7475
		Борисоглебская ГЭС	56	288,55	0,5882
		Хевоскоски ГЭС	47	230,79	0,5606

Выбранные каскады станций имеют различную конфигурацию и в разрабатываемой программе могут быть представлены расчёты как для разных конфигураций станций, так и для станций с большим разбросом установленной мощности. С помощью разрабатываемого комплекса планируется увеличить отдачу мощности представленных станций, а также увеличить их коэффициент установленной мощности.

Для проведения описанных операций необходим большой объём исходной информации. Для её получения был заключён специализированный договор о сотрудничестве с между ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» и ПАО «ТГК-1» в рамках которого можно получить данные по станциям из таблицы 1. Для анализа эксплуатационных данных по станциям, построения специализированной схемы каскада ГЭС, анализа регламентированных ограничений на проведение расчётов были запрошены следующие данные:

- 1) притоки реки за последние 10 лет для каждой станции. Минимальный интервал – 1 сутки для проведения краткосрочных расчётов. Максимальный интервал – 1 месяц для проведения долгосрочных расчётов;
- 2) схематичное изображение станции с изображением отметок: НПУ, ФПУ, УМО, отметок нижнего бьефа;
- 3) схематичное изображение каскадов станций с изображением отметок: НПУ, ФПУ, УМО, отметок нижнего бьефа;
- 4) кривые связи верхнего и нижнего бьефов для каждой станции с учётом динамического объёма водохранилища;
- 5) потери станции в верхнем бьефе и водохранилище, потери станции на водоподводящих сооружениях;
- 6) универсальные характеристики агрегатов станций;
- 7) просчитанные ранее водно-энергетические характеристики для каскадов ГЭС, для отдельных ГЭС за последние 10 лет;

8) нормативные документы, определяющие работу каскада станций;

9) Нормативные документы, определяющие работу станции в отношении других водопользователей.

Представленный объём данных на текущий момент анализируется, поэтому для написания программного кода комплекса были использованы данные из открытых источников.

ФУНКЦИОНАЛ КОМПЛЕКСА

Для проведения исследований и водно-энергетических расчётов необходима реализация комплекса с большим набором функционала, но реализовать всё это так, чтобы внешний вид не был перегружен.

Так как основной задачей программы является расчёт каскадов и определение энергетического эффекта от строительства или модернизации гидроэлектростанции, то в основном окне представляется информация о реке, имеющихся станциях и небольшая справочная информация по проводимому расчёту.

Информация о реке и существующих станциях каскада вносится с помощью специального окна программы. Ввод данных осуществляется по следующей схеме:

- 1) Вносятся данные по разрабатываемому каскаду гидроэлектростанции:
 - a. Название реки;
 - b. Длина в км.;
 - c. Высота отметок в м.;
 - d. Название каскада;
 - e. Количество станций.
- 2) Вносятся данные по каждой станции:
 - f. Отметка на реке;
 - g. Название станции;
 - h. Отметки НПУ, ФПУ, УМО в м.;
 - i. Потери воды;
 - j. Потери напора;
 - k. Указываются месяцы зимы;
 - l. Приток реки за известные года (от 1 года до 10 лет);
 - m. Статус станции;
- 3) Вносятся характеристики по каждой станции:
 - n. Кривые связи верхнего и нижнего бьефа;
 - o. Кривые КПД генератора и турбины;

Ввод кривых осуществляется особым способом. Так как многие данные для гидроэлектростанций и интересующих створов были разработаны более 20 лет назад, то данные по характеристикам, как правило, присутствуют на бумажном носителе, либо в виде скан-копии этого носителя. Для удобного перевода в цифровой формат и точного взятия данных разработана функция преобразования данных с таких носителей в единую кривую.

В программу загружается картинка в формате *.jpg или *.png, вводятся названия осей, их размерность, их минимальное и максимальное значение. Затем с помощью мыши отмечаются точки и в появляющемся окне вводятся значения по двум указанным осям. Пользователь может внести до 25 значений кривой, по полученным значениям строится линия тренда в виде полинома степени n. Так как полученный график строится поверх введённых значений, то пользователь может оценить точно построенной кривой. Степень полинома, как и внесённые данные можно поменять в специальном поле. При наличии таблицы данных, можно ввести эти данные при помощи таблицы, то-

гда отмечать оси и значения на графиках не потребуется вовсе. После внесения и утверждения данных их можно сохранить как отдельный файл, чтобы не вносить повторно. В это время в основном окне программы строится схематичное изображение реки и каскада гидроэлектростанций согласно данным, введённым ранее. Внешний вид программы представлен на рис. 2. Появившиеся картинки не являются интерактивными и могут быть изменены только исходя из вводимых данных.

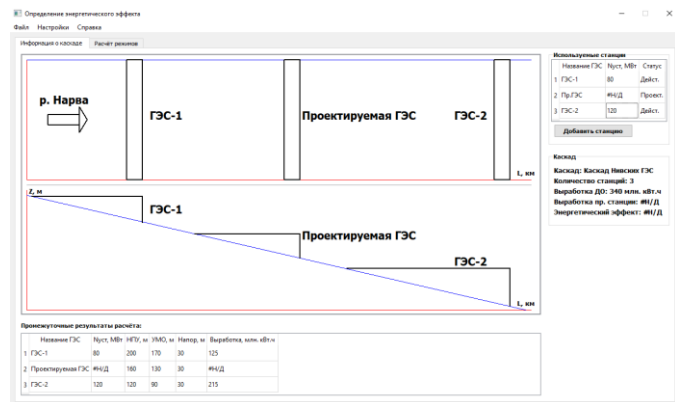


Рис. 2. Внешний вид программы

Для проведения расчётов осуществляется переход на соседнюю вкладку «Расчёт режимов». В настоящее время реализована система расчёта водно-энергетического режима одиночной гидроэлектростанции, зависимой по расходам от вышестоящей станции. На данный момент ведутся исследования по зависимости режимов гидроэлектростанций в зависимости друг от друга, так как в случае слабого взаимодействия в реальных условиях, ценность разработки и учёта возможной координации между станциями окажется бесполезной.

После проведения расчётов данные из итоговой таблицы расчёта каждой внесённой станции могут быть экспортированы в таблицу Microsoft Excel с применением библиотеки orepnuxl. Модуль импорта/экспорта позволяет выгружать промежуточные и завершённые расчёты. Данные выгружаются в формате *.xlsx и подходят для использования в программе Microsoft Excel. Модуль также выгружает схему каскада ГЭС и исходные данные по станции или каскаду. Данные выгружаются на два листа: 1. Лист каскада, 2. Лист станции.

1) Лист каскада, на котором представляется информация по реке, названию каскада, информации по приточности реки, потерям, схематическому изображению каскада и прочей сопроводительной информации.

2) Лист станции, на котором представляется информация по станции и представляется результат водно-энергетического расчёта, проведённого для данной станции. Отдельно выгружаются внесённые характеристики, представляемые как в табличном виде, так и построенные с помощью Комплекса.

Также в Комплексе реализуется функционал по сохранению и возобновлению его работы в случае его остановки, ошибки и прочих ситуациях. Для этого каждое действие записывается в отдельный файл, который подгружается программой при запуске.

РАСЧЁТ РЕЖИМА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТА

Для проведения исследования после заданных начальных условий необходимо провести водно-энергетический расчёт. Внешний вид вкладки с расчётом представлен на рис. 3.

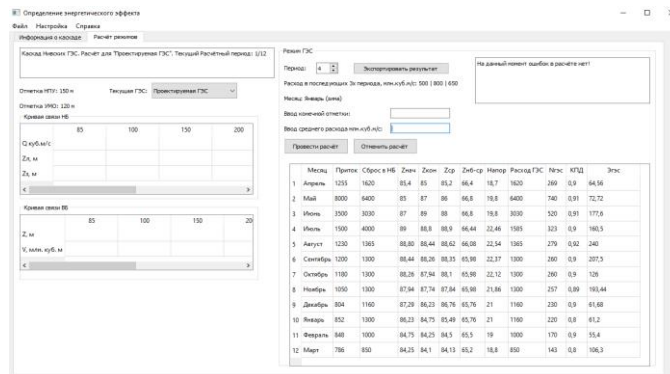


Рис. 3. Внешний вид вкладки для расчёта

Расчёт проводится по алгоритму водно-энергетического расчёта одиночной ГЭС для одного водохозяйственного года. Алгоритм расчёта представлен в [16]. Основной принцип заключается в том, что расчёт может быть проведён как с помощью ввода конечной отметки за рассматриваемый период, так и с помощью среднего расхода гидроэлектростанции за рассматриваемый период.

Особенностью в данном комплексе является то, что расчёты водно-энергетического режима должны быть произведены последовательно от первой станции к последующим станциям каскада. Боковой приток (при его наличии) будет учитываться отдельно, как и ограничения, накладываемые на расчёт. Так как малые гидроэлектростанции, для которых предназначен комплекс, не всегда расположены на большом удалении и между ними может и не быть крупных водных потребителей, то при реализации будет введена возможность пропуска ввода расходов для последующих станций каскада, если станции расположены очень близко друг другу, то есть подразумевается, что для станции 2, находящейся сразу за станцией 1, притоком воды будет всегда являться сброс воды станции 1.

В текущей версии комплекса реализуется расчёт для одного водохозяйственного года, начало которого задаётся при вводе исходных данных. В качестве величины притока может быть указан либо один введённых ранее годов, либо программа может провести расчёт обеспеченности притока и выдать эти данные в качестве исходных. После проведения расчёта для всех станций в каскаде, определяется энергетический эффект от строительства или модернизации станции. Если станция строится, то её текущая выработка будет добавлена к выработке станции, которые уже есть в каскаде. При модернизации каскада, учитываются две версии характеристик.

РАБОТА С ПОЛУЧЕННЫМИ ДАННЫМИ

После проведения расчёта данные могут быть улучшены с помощью методов оптимизации. Для проведения оптимизации расчёта после завершения основного расчёта с помощью специальной вкладки запускается окно выбора метода оптимизации. В настоящее время реализован метод оптимизации с помощью динамического программирования, как самый популярный метод оптимизации [17, 18].

Сейчас ведётся работа по доработке программы и добавления метода оптимизации роя частиц, который слабо представлен в подобных комплексах внутри России [19, 20].

Для демонстрации работы был проведён расчёт водно-энергетического режима Камской ГЭС на р. Кама по данным из правил использования водных ресурсов [21]. После проведения расчёта по указанным ранее принципам была проведена оптимизация режима. Результаты сведены в табл.2 и табл.3.

Таблица 2.

Расчёт режима Камской ГЭС до оптимизации

РП	Приток	Сброс в НБ	Zвб ср	Zнб	H	Nгэс	Эгэс
Месяц	м³/с	м³/с	м	м	м	МВт	млн. кВт.ч
Апр	1261	1326	101,99	86,58	15,41	178	42,81
	5138	2845	104,1	88,64	15,46	391	93,74
Май	7145	3186	106,68	89,38	17,3	495	118,83
	10743	6493	108,5	91,91	16,59	938	225,19
	7121	7130	108,5	98,39	10,11	621	163,94
Июнь	3480	3789	108,5	90,5	18	600	143,95
	2989	3026	108,5	90,09	18,41	489	117,46
	3211	3172	108,5	90,17	18,33	505	121,26
Июль	1459	1480	108,5	89,36	19,14	239	178,05
Авг	704	1244	107,68	89,11	18,57	206	153,25
Сен	849	1216	107,07	88,89	18,18	195	140,34
Окт	857	1160	106,52	88,59	17,93	181	134,86
Ноя	729	1031	106,34	88,34	18	162	38,84
	651	1000	106,14	88,13	18,01	157	37,80
	571	1000	105,87	87,93	17,94	156	37,49
Дек	498	829	105,2	87,34	17,86	129	95,71
Янв	458	895	104,22	86,99	17,23	134	99,93
Фев	436	844	103,23	86,66	16,57	122	81,68
Март	438	872	101,87	86,66	15,21	115	85,72
Апр	526	1225	102,06	87,32	14,74	158	37,92

Таблица 3.

Режим Камской ГЭС после оптимизации

РП	Приток	Сброс в НБ	Zвб ср	Zнб	H	Nгэс	Эгэс
Месяц	м³/с	м³/с	м	м	м	МВт	млн. кВт.ч
Апр	1261	1316	102	86,56	15,44	177	42,56
	5138	2890	104	88,74	15,26	396	95,03
Май	7145	3200	106,65	89,4	17,25	496	119,01
	10743	6493	108,49	91,91	16,58	938	225,06
	7121	7130	108,5	98,39	10,11	621	163,94
Июнь	3480	3789	108,5	90,5	18	600	143,95
	2989	3026	108,5	90,09	18,41	489	117,46
	3211	3172	108,5	90,17	18,33	511	122,62
Июль	1459	1480	108,5	89,36	19,14	245	182,14
Авг	704	1224	107,72	89,05	18,67	204	151,57
Сен	849	1116	107,1	88,85	18,25	181	130,57
Окт	857	1280	106,52	88,59	17,93	202	150,64
Ноя	729	1031	106,37	88,34	18,03	162	38,90
	651	1005	106,16	88,13	18,03	158	38,03
	571	1000	105,87	87,93	17,94	158	37,86
Дек	498	809	105,2	87,34	17,86	125	93,36
Янв	458	835	104,22	86,99	17,23	126	93,84
Фев	436	844	103,28	86,66	16,62	123	82,65
Март	438	863	101,9	86,66	15,24	114	84,99
Апр	526	1265	102,06	87,32	14,74	164	39,48

Так как Камская ГЭС расположена на р. Кама, которая является судоходной, то к режиму станции предъявляются большие ограничения по функционированию, поэтому оптимизация режима была небольшой. Коллектив авторов продолжит заниматься изучением вариантов оптимизации режима данной станции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена реализованная версия программного комплекса для проведения водно-энергетического расчёта каскада ГЭС и малых ГЭС. В своём текущем исполнении комплекс позволяет проводить расчёты для одного водно-хозяйственного года. Комплекс разрабатывается как учебная программа для проведения лабораторных и курсовых работ на кафедре ГВИЭ МЭИ и для проведения расчётов отделом эксплуатации компании ПАО «ТГК-1».

ЛИТЕРАТУРА

1. Фишер Н.В. Инновационные технологии в профессиональном образовании // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 3: Педагогика и психология. – 2010. – №1. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-v-professionalnom-obrazovanii> (дата обращения 01.02.2021).
2. Кондратьева И.Г. Современные технологии и трансформация системы обучения / И.Г. Кондратьева, Н.Ю. Мадякина // Вестник НЦБЖД. – 2017. – Т.3, №33. – С. 27-32.
3. Болбат О.Б. Опыт перехода на дистанционное обучение в период пандемии коронавируса / О.Б. Болбат, О.Ю. Хекало // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – Т.2-1, №53. – С. 96-98.
4. Расулова З.Д. Наука и образование в период пандемии // Наука, Техника и Образование. – 2020. – Т.11, №75. – С. 102-105.
5. Рогачёва П.С. Проблемы дистанционного образования в период пандемии / П.С. Рогачёва, С.В. Семергей // Вестник майкопского государственного технологического университета. – 2020. – Т.4, №12. – С. 85-93.
6. Труфакин С.С. Оптимизация долгосрочных режимов ГЭС Ангаро-Енисейского каскада / С.С. Труфакин, Е.А. Совбан, В.И. Пантелеева, Т.А. Филиппова // Энергетика глазами молодежи: сборник докладов конференции (г. Самара, 02-06 октября 2017 г.). – Самара, 2017. – С. 173-176.
7. Бубер А.Л. Имитационное моделирование водохозяйственных систем в режиме оптимизации диспетчерских правил управления на примере уникального природно-технического комплекса «Озеро Байкал – Иркутское водохранилище» / А.Л. Бубер, Л.Д. Раткович, А.И. Рябиков // Природообустройство. – 2018. – Т.3. – С.31-39.
8. Егоров М.В. Имитационное моделирование оперативного баланса ГЭС Волжско-Камского каскада / М.В. Егоров, Т.Н. Протопопова // Энергия единой сети – 2013. – Т.1, №6. – С. 40-49.
9. Русина А.Г. Вопросы повышения эффективности режимов работы Новосибирской ГЭС / А.Г. Русина, Г.Ж. Дургарян, А.Е. Калинин // Автоматика и программная инженерия. – 2017. – Т.1, №19. – С. 18-27.
10. Савина Н.В. Оценка целесообразности перехода на распределенную генерацию / Н.В. Савина, В.М. Жукова // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: сборник докладов конференции (г. Благовещенск, 11-12 марта 2019 г.). – Благовещенск, 2019. – С. 233-238.

11. Носов С.О. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в республике Карелия / С.О. Носов, Д.Е. Петрушин, Д.А. Ивановский // Энерго-эксперт. – 2021. – Т.2, №78. – С. 68-72.
12. Черняев М.В. Плюсы и минусы развития малой гидроэнергетики: российская действительность и китайский опыт / М.В. Черняев // Вестник российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. – 2020. – Т.28, №2. – С. 300-314.
13. Бубер А.А. Разработка гидродинамической модели р. Ангара для оптимального управления водными ресурсами ангарского каскада ГЭС / А.А. Бубер, Е.Э. Головинов, А.А. Талызов // Водные ресурсы России: Современное состояние и управление, сборник докладов конференции (г. Сочи, 08-14 октября 2018 г.). – Сочи, 2018. – С. 128-137.
14. Беляев И.В. Оптимизация режимов работы станционной сети Волжской ГЭС // Гидроэлектростанции в XXI веке, сборник материалов конференции, (г. Саяногорск, 15-16 мая 2015 г.). – Саяногорск, 2015. – С. 89-92.
15. Производственный комплекс ПАО «ТГК-1». – URL: <https://www.tgk1.ru/production/complex> (дата обращения 01.02.2021).
16. Александровский А.Ю. Гидроэнергетические установки: учебное пособие / А.Ю. Александровский, Б.И. Силаев. – М.: Издат-во МЭИ, 2005.
17. Русина А.Г. Повышение эффективности управления режимами электроэнергетической системы, состоящей из гидроэлектростанций // А.Г. Русина, Д.Х. Худжасаидов // Научный вестник новосибирского государственного технического университета. – 2017. – Т.1, №66. – С. 179-192.
18. Елсуков П.Ю. Оптимизация длительных режимов работы электроэнергетической системы, включающей ТЭЦ и ГЭС с водохранилищами многолетнего регулирования: дис канд. тех. наук. – Иркутск, 2013. – 156 с.
19. He Y. Comparison of different chaotic maps in particle swarm optimization algorithm for long-term cascaded hydroelectric system scheduling / Yao-Yao He, Jian-Zhong Zhou, Xiu-Qiao Xiang, Heng Chen, Hui Qin // Chaos, Solitons & Fractals. – 2009. – Vol. 42. – P. 3169-3175.
20. Niua W. A parallel multi-objective particle swarm optimization for cascade hydropower reservoir operation in southwest China / Wen-jing Niua, Zhong-kai Feng, Chun-tian Cheng, Xin-yu Wu // Applied Soft Computing. – 2018. – Vol. 70. – P. 562-575.
21. Приказ Федерального агентства водных ресурсов от 07.11.2015 N 225 "Об утверждении Правил использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р. Кама".

DOI: 10.24892/RIJIE/20220203

Complex for Determining the Energy Effect of the Construction New Hydropower Plants

Sysoev A.A., Tyagunov M.G., Lazareva N.V.

Department of Hydropower and Renewable Energy Sources
National Research University "MPEI"

Moscow, Russian Federation

sasha_sysoev@mail.ru

Abstract. This paper presents a description and appearance of a software package that implements the possibility of conducting researches of cascades with an arbitrary hydrological scheme. The complex allows to make water and energy calculations of HPP cascades, HPPs under construction and upgraded. Using the complex, can be determined the energy effect, i.e., increase in generation, of HPP cascade due to the construction of a new plant or the modernization of an existing one. The complex is developed in the Python programming language using the PyQt5 library, the calculations are optimized using the dynamic pro-

gramming method. The calculation is made for the stage of pre-project assessment of the feasibility of building a hydroelectric power plant. The data were taken for the Kama HPP for calculations. The work touches upon the issues of using this complex in the process of teaching students and graduate students in higher educational institutions

Keywords: hydroelectric power plant, water-energy calculation, optimization of the operating mode, optimization methods.

Библиографическое описание статьи

Сысоев А.А. Комплекс для определения энергетического эффекта от строительства новых гидростанций / А.А. Сысоев, М.Г. Тягунов, Н.В. Лазарева // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2022. – Т.9, №2. – С. 16-21. DOI: 10.24892/RIJIE/20220203

Reference to article

Sysoev A.A., Tyagunov M.G., Lazareva N.V. Complex for determining the energy effect of the construction new hydropower plants, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2022, vol.9, no.2, pp. 16-21. DOI: 10.24892/RIJIE/20220203