

## ДИГИТАЛИЗАЦИЯ НА КАСКАДА „АРДА“ ЗА ХИДРОЕНЕРГИЙНОТО ПРОИЗВОДСТВО – I ЧАСТ

Християн Петров, Георги Петров

### DIGITIZATION OF THE ARDA CASCADE FOR THE HYDROELECTRIC PRODUCTION - PART I

Hristiyan Petrov, Georgi Petrov

**Резюме:** Дигитализацията на енергийния сектор е важен фактор за развитието на икономиката и индустрията, в статията е разгледан хипотетичен модел за преходна фаза при дигитализацията на една от най-важните водно електрически системи в България, каскадата „Арда“. Чрез въвеждането на цифровите системи се постигат редица преимущества: създават се перспективи за интелигентна поддръжка, подобрява се ефективността на работата, създават се предпоставки за създаване на „дигитален“ близък, постига се драстично повишаване сигурността на обекта и цялата система, подобрява се комуникацията при осъществяване на инфраструктурни реконструкции и т.н.

**Ключови думи:** дигитални близнаци, хидроенергийно производство

**Abstract:** The digitalization of the energy sector is an important factor for the development of the economy and industry, the article discusses a hypothetical model for a transitional phase in the digitalization of one of the most important hydroelectric systems in Bulgaria, the Arda cascade. The introduction of digital systems achieves a number of advantages: creates prospects for intelligent support, improves work efficiency, creates conditions for creating a "digital" twin, achieves a drastic increase in security of the site and the whole system, improves communication during implementation of infrastructure reconstructions, etc.

**Keywords:** digital twin, hydroelectric production

#### 1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА КАСКАДАТА АРДА

Река Арда е една от най-пълноводните реки в България с годишен отток от 2,055 млрд. м<sup>3</sup>, Нейната водосборна област е 5 200 км<sup>2</sup>, тя се влива в Марица до град Одрин. Използваемият и бруто пад е 725 м, като използваемият енергиен потенциал – 1,15 милиарда киловатчаса. Реката събира водите си от склоновете на Средните и Източните Родопи, район под преобладаващото влияние на средиземноморските циклони, които предизвикват валежи основно през зимните месеци. В р. Арда се вливат 25 притока, основните от които са Върбица (Сютлийка), Бургас дере, Черна Арда, Малка Арда, Давидковска, Перперек и други. Средногодишният отток е над 50 % през месеците ноември – февруари, над 30 % през периода март – април и под 20 % през останалите месеци. Високите води от падналите през зимата валежи съвпадат с периода на най-голяма консумация на електроенергия и тъй като отсъстват други водоползватели, каскада „Арда“ е чисто енергийна. Събраните в язовирите „Кърджали“ и „Студен кладенец“ води се използват по график, определен от енергийните диспечери. Това в по-малка степен се отнася до язовир „Ивайловград“, който поради малкия си обем особено при пълноводие работи в зависимост от постъпващите води. Тези фактори допринасят за необходимостта нашата общественост и специалистите да обръщат внимание на енергийния потенциал на р. Арда. Това се дължи на обстоятелството, че на българска територия водите ѝ не се ползват за напояване или за водоснабдяване на по-големи градове или промишлени

предприятия. Исторически едва през 1949 г. е изработен технико-икономически доклад (ТИД) за използването на водите на реката, с постановление 408/13.5.1952 г. тогавашният МС възлага изработването на идейните и техническите проекти на хидровъзлите “Студен кладенец” и “Кърджали” на Министерството на енергетиката, респ. на “Енергопроект”. Въз основа на тези проекти през 1954 започва изграждането на язовир “Студен кладенец”, а през 1957 г. и на язовир “Кърджали”. В енергийно отношение басейнът на р. Арда условно е разделен на три – Горна Арда, Средна Арда и Долна Арда, обхващаща хидровъзлите “Студен кладенец”, “Кърджали” и “Ивайловград”, както и незастроеното стъпало “Маджарово” - фиг. 1. [1], (<sup>1,2,3,4</sup> ведомствени източници).

Към настоящия момент всичките обекти на хидроенергийната мрежа на България, разпределени в 20 язовирни района, са свързани с телекомуникационна и информационна инфраструктура, но за съжаление не всички системи в тях, както и събирането и агрегиране на данни и техния анализ е автоматизиран, изисква превантивно много ръчен труд и забавя процесите по планиране, поддръжка и управление на обектите.



Фиг. 1. Схема на каскада „Арда“.

## 2. МРЕЖОВА ИНФРАСТРУКТУРА

До трите язовира има изградена мрежа като цялото комуникационно и информационно оборудване [2, 3] има връзка към нея, като е осигурена и конвергенция с използване и на мобилни решения за връзка [4]. Наличната база следва да бъде видоизменена и доразвита, като процесът ще бъде предшестван от провеждане на проучване на терен за възможностите на инсталираните системи и нуждите на

<sup>1</sup> Научна организация за производството на труда и управлението - НОПТУ „Кърджали“ – МEG НИППИЕС – ЕНЕРГОПРОЕКТ – 1970 год.

<sup>2</sup> Научна организация за производството на труда и управлението - идеен проект „Кърджали“ – МEG НИППИЕС – ЕНЕРГОПРОЕКТ – 1970 год.

<sup>3</sup> Научна организация за производството на труда и управлението - обяснителна записка „Кърджали“ – МEG НИППИЕС – ЕНЕРГОПРОЕКТ – 1970 год.

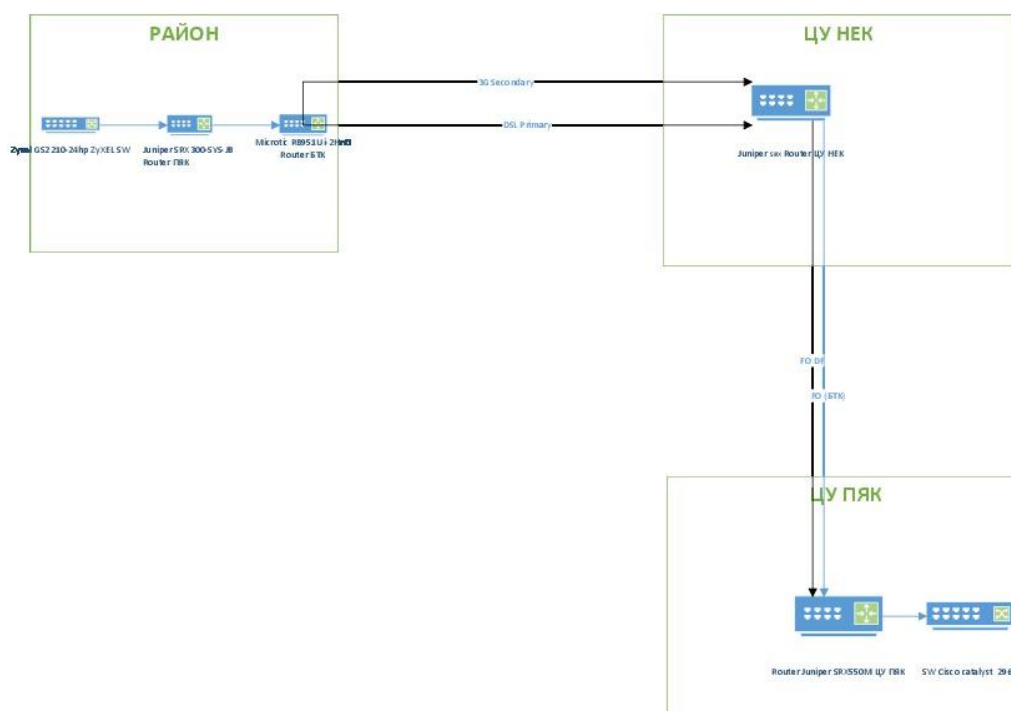
<sup>4</sup> Х.В. „ИВАЙЛОВГРАД“ ПСД 306 ДОПЪЛНИТЕЛНА ПСД ИЗМЕРИТЕЛНИ УРЕДИ – КП ПИЕС „ЕНЕРГОПРОЕКТ“ - 1962 год.

операторите и работещия персонал, като това ще подпомогне създаването на стратегически план за ъпгрейд на наличното и доставка и монтаж на ново мониторингово (IoT – интернет на нещата и телекомуникационно) оборудване [5], като така ще бъде създадена наистина надеждна и сигурна телекомуникационна и информационна структура с централизирано управление и център за хидроенергиен мониторинг впоследствие.

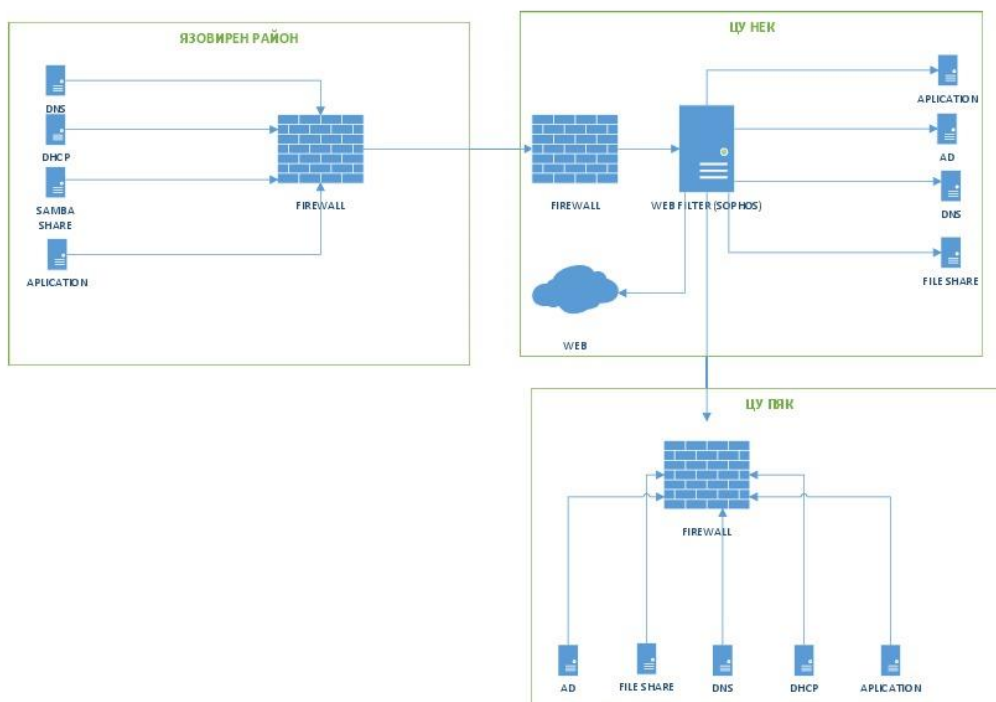
- яз. Ивайловград
- яз. Студен Кладенец
- яз. Кърджали



Фиг. 2 ODF (optical distribution frame) е монтиран в шкафа с крайните устройства или на отделна стойка до тях и осъществява връзката и организацията на съединенията между стационарния оптичен кабел и крайните оптични устройства.



Фиг. 3.1 Топологията на мрежата на язовирен район Ивайловград е звездообразна.



Фиг. 3.2 Показва логическата свързаност между Язовирен район – Централно управление на „Язовири и каскади“ – Централно управление на НЕК ЕАД и услугите.

### 3. УЕБ БАЗИРАНА СИСТЕМА ЗА ПОДГОТВИТЕЛЕН СТАДИЙ НА ДИГИТАЛИЗАЦИЯТА

Целта на настоящата разработка е да бъде създадена автоматизация при процесите на агрегиране на данните от трите язовира, като така стане възможна визуализацията им в реално време и възможности за съпоставяне на със стари отчетни периоди, за планиране на дейности и др. Данните за общия показател на язовирите се изготвят ежедневно от специалисти, които се намират на територията на язовирния район, тези данни включват отчети съдържащи следната информация, като се изплащат в електронни таблици през електронна поща, този подход изисква доста време за обработка на таблиците и не позволява визуализацията на измененията в реално време, данните които се следят са:

- Кота
- Обем
- Приток
- Разход
- Загуби
- ОИ
- Преливник
- Общ разход
- Температура на въздуха – С.
- Относителна влажност в %
- Валежи
- Скорост на вятъра
- Снежна покривка – дебелина и плътност
- Покритост

Този процес за момента е ръчен и изисква допълнителна работа за обработка на данните, което го прави трудоемък и бавен за актуализация. Изискванията към системата са да може автоматично да прихваща тези отчетни карти и те да бъдат въвеждани в електронна база данни за всеки един отделен обект поотделно. Като така събраните данни ще позволят създаването на автоматизирани отчетни форми, графики и планиране на производството на електроенергия, а също така и за избягване на бедствени ситуации.

ЯЗ. СТУДЕН КЛАДЕНЕЦ																
ДАТА	Температура на въздуха - С°						Относ. влажност - %			Валежи	Скорост на вятъра			Снежна покривка		Покритост в %
	сух термометър			макс. темп.	мин. темп.	14 ч.	21 ч.	7 ч.	мм	м/сек			дебелина	плътност		
	14 ч.	21 ч.	7 ч.							7 ч.	14 ч.	21 ч.			7 ч.	
01/01/2021	15.3	8.4	3.9	15.5	3.7	61	74	98	11.5	8	1	0	0	0.00	0	
Забележка:																

Елементи на водния баланс															
дата	кота	обем 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	приток		разход		загуби		ОИ		преливник		общ разход		Съставил баланса /фамилия/
			10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /сек	10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /сек	10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /сек	10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /сек	10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /сек	10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /сек	
01/01/2021	222.29	315.801	6.424	74.355	4.122	47.713	34	0.396	0	0.000	0	0.000	4.157	48.109	К. Тенев
Забележка:															

Фиг. 4 Таблична структура на ежедневните отчети касаещи снеговалежите и водния баланс.

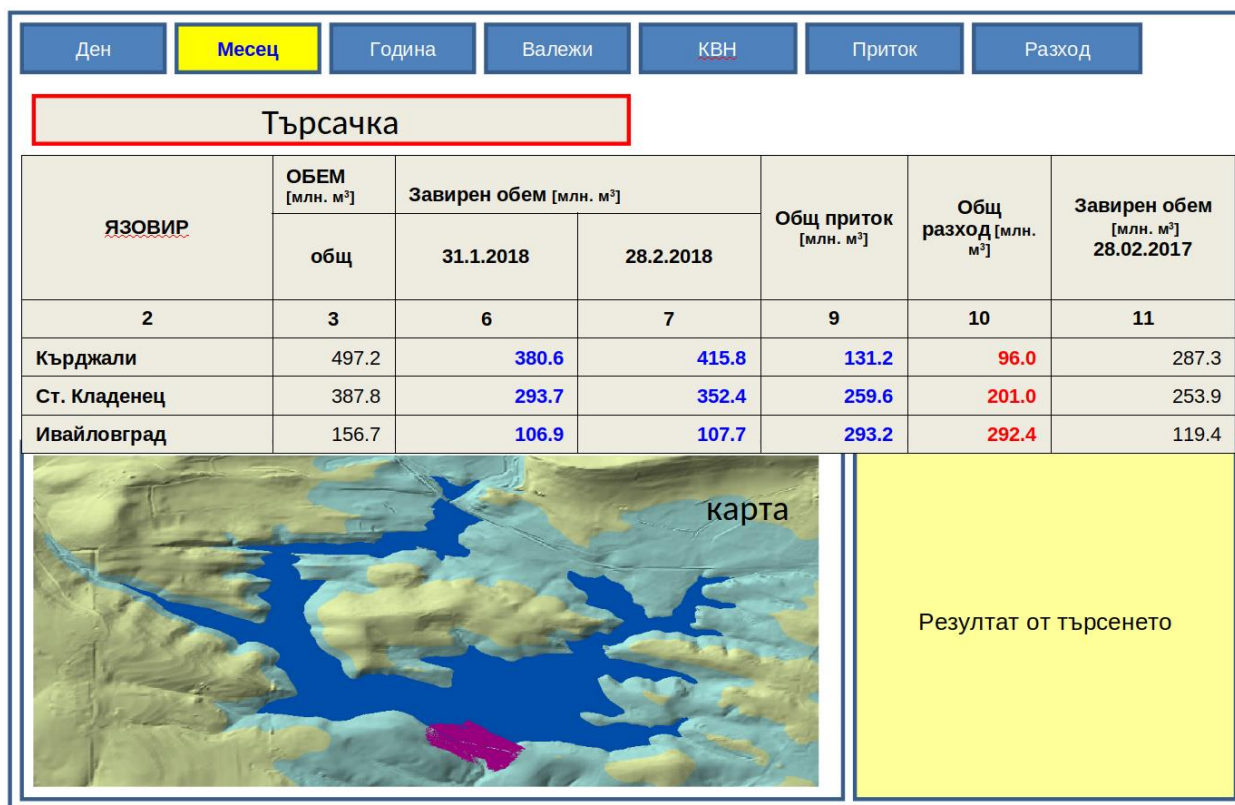
Освен данните налични в електронна форма за обектите има огромно количество историческа информация, която следва допълнително да бъде въведена и проверена ръчно от оператор. Данните се съхраняват на хартиени отчети от момента на начало на функциониране на язовирите. Към тези статистически данни ще бъдат добавени специални допълнителни атрибути по дати, които да бъдат свързани с инфраструктурни ремонти, мероприятия по поддръжката, информация за изменения и промени при различни природни феномени, като земетресения и др. Въз основа на наличните чертежи ще бъдат изготвени детайли 3D модули на цялата инфраструктура, като данните допълнително следва да бъдат засечени с реална карта съдържаща обективния 3D профил на стените и терена към настоящия момент. По този начин в бъдеще ще бъде по-лесно и удобно проследяването на аварийни състояния, бедствия и при планиране на ремонтни дейности и въвеждане на системите за следене на стените и прилежащата енергийна инфраструктура. Централизирано и автоматизирано ще стане възможно да се планира и следи натоварването на енергийната инфраструктура, заедно с цялата база на язовирите и прилежащите региони към тях. Тези данни след детайлни анализи ще бъдат ползвани за създаване на автономни модели на обектите, като това бъде една начална стъпка предхождаща изграждането на дигитални близнаци на каскадата.

Софтуерната система за визуализация и обработка на данните включва няколко модула: за събиране и конвертиране на първично постъпващата информация от ежедневните отчети съгласно Фиг. 4, която се обработва чрез питон скрипт и библиотеката „pandas“, която позволява итеративно обхождане и извличане на данни от ежедневните Excel отчетни форми постъпващи посредством електронна поща. Този

подход облекчава работата на персонала със събирането и копирането на информацията за всички обекти на дружеството, като спестява около 2 до 4 часа ръчен труд. Едновременно с това автоматично събраните данни се въвеждат в база данни идентична за всеки един обект. Разделението на базата на идентични копия за отделните обекти е направено с цел ускоряване и улесняване поддръжката на системата, като така всеки един обект подлежи на последваща индивидуална виртуализация или чрез използване на Docker контейнери, а агрегирането на общата информация става посредством уеб базиран портал за менажиране и наблюдение. Входът в системата на стари данни може да се осъществява и от обобщените вече направени годишни отчети за всички обекти, като това значително ще опрости работата по въвеждане на вече събраните данни, за годините в които те са въведени в електронна форма. Единствената ръчна работа е въвеждането на отчети за стари периоди. Използването на подобна система позволява интеграцията на модули с приложение на изкуствения интелект, като така дигиталния модел на всеки отделен обект може поетапно във времето да бъде подготвен към изграждането на пълноценен цифров близък на обекта [6].

Уеб портала има следните спецификации:

- Меню за търсене и избор на обекти;
- Възможност за таблично и графично представяне за определен избран отрязък от време;
- Възможност за изчисление на средни норми и нараствания и други числови данни нужни при работа на обектите за предварително избран период от време (това подобрява ползвани до момента ръчен метод с усредняване на данните за десетдневен период);
- Графична визуализация на данни за нивото на язовира събирана от охранителни камери, други сензорни данни и/или сателитни или дрон снимки Фиг. 5;



Фиг. 5. Графичен изглед на уеб базирания портал.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамките на този предварителен проект бяха извършени детайлни справки по събиране на нуждата документация свързана с изграждането и поддръжката на обектите от каскада Арда, като така цифровизираните данни са включени в базата данни за всеки един отделен обект. Извършена е инвентаризация на мрежовата свързаност, направен е анализ на сигурността и са подготвени действия за подобряване обслужването и мониторинга на мрежовите ресурси на системата. Разработена е методика за въвеждане на данните от различни цифрови и хартиени източници свързана с ежедневните отчети за функционирането на язовирите и т.н. Подготвена е експериментална уеб платформа чието ползване ще подобри неимоверно работата на персонала на компанията зает с ежедневното планиране, следене и поддръжка на обектите, като така ще стане възможно по-лесното предотвратяване на аварии и справяне с кризисни ситуации, тъй като вече ще става възможно набирането на база от знания за минали периоди и т.н. Използваният подход е модулен и позволява лесната виртуализация на обектите в последствие.

#### ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ (REFERENCES):

- [1] СТОЯНОВ, С. и др. *Хидровъзел „Студен кладенец“*. София: Техника, 1959.
- [2] КЪДРЕВ, В. и др. *Корпоративни мрежи: учебно пособие за практически занятия*. София: Авангард Прима, 2015. ISBN 978-619-160-505-7.
- [3] КЪДРЕВ, В. *Развитие на протоколите за сигнализация в перспективните технологии на бъдещите мрежи*. София: Асеновци, 2020. ISBN 978-619-7586-05-3.
- [4] ПЕТКОВА, М. и В. KADREV. *Convergence of IT Technologies and High-tech Communications in Future Networks*. Sofia: Avangard Prima, 2015. ISBN 978-619-160-509-5.
- [5] СИМЕОНОВА, Ц. *Развитие на перспективните технологии в „Интернет на свързаните неща“ IoT (Internet of Things)*. София: Асеновци, 2021. ISBN 978-619-7586-25-1.
- [6] ГУРОВА, Е. *Инструменти и техники за управление на знания*. София: Авангард Прима, 2015. ISBN 978-619-160-495-1.

#### Информация за авторите:

инж. Християн Петров, системен администратор, бакалавър, НЕК ЕАД, пред. Язовири и каскади, София, ул. Лавеле 26, +359 883 345 434, [h.petrov@dams.nek.bg](mailto:h.petrov@dams.nek.bg)

Доц. д-р Георги Петров, ръководител на деп. „Телекомуникации“ НБУ, София 1618, бул. „Монтевидео“ №21, +359 2 8110609, [gpetrov@nbu.bg](mailto:gpetrov@nbu.bg)

#### Contacts:

Hristiyan Petrov, dipl. eng., NEC EAD, Sofia, 26 Lavele Str., [h.petrov@dams.nek.bg](mailto:h.petrov@dams.nek.bg)

Ass. Prof. Georgi Petrov, PhD, New Bulgarian University, Dep. Telecommunications, Sofia, 21 Montevideo Str, +359 2 8110609, [gpetrov@nbu.bg](mailto:gpetrov@nbu.bg)

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 15.09.2021

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 30.09.2021