

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Юбилейна приложна научно-техническа конференция
„65 години Хидротехнически факултет и 15 години немскоезиково обучение”

6–7 ноември 2014
6–7 November 2014

International Jubilee Conference
„65th Anniversary Faculty of Hydraulic Engineering and 15th Anniversary Hydraulic Engineering in German”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

XLVII ^{ТОМ}
vol.

2014

св.
fasc. I-A

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НЕСТАЦИОНАРНИТЕ ПРОЦЕСИ В СЪОРЪЖЕНИЯТА НА ИЗХОДА НА ПСПВ “БИСТРИЦА” ГР. СОФИЯ

Н. Лисев¹, В. Кукурин², С. Тачев³, П. Тодоров⁴

Ключови думи: хидравлично моделиране, облекчителни съоръжения, хидравлика, нестационарни процеси, преливници

Научна област: инженерна хидрология, хидравлика и водно стопанство

РЕЗЮМЕ

В статията са представени резултати от изследване на хидравличното действие на разпределителната камера и свързващите тръбопроводи на изхода на ПСПВ „Бистрица“ гр. София. Специално внимание е отделено на хидравличното действие на слабонапорния довеждащ тръбопровод, колебанията на водните нива в разпределителната камера, установяване на гранични водни нива във входната шахта на отвеждащия напорен тръбопровод и рискът от засмукване на въздух в него, както и общата хидравлична картина при маневриране със затворните органи в разпределителната камера.

Изследван е вариант с изграждане на допълнителен компенсационен резервоар, разпределението на скоростите на водата в него, влиянието на котата на преливника, оптимизиране на обема на резервоара и времепрестоя на водата в него.

¹ Николай Лисев, доц. д-р инж., кат. “Хидравлика и хидрология“, УАСГ, бул. “Хр. Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: lisev_fhe@uasg.acad.bg

² Владимир Кукурин, инж., докторант, кат. “Хидравлика и хидрология“, УАСГ, бул. “Хр. Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: v_kukurin@yahoo.com

³ Сава Тачев, д-р инж., кат. “Хидравлика и хидрология“, УАСГ, бул. “Хр. Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: sava371@abv.bg

⁴ Петър Тодоров, инж., кат. “Хидравлика и хидрология“, УАСГ, бул. “Хр. Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: peter_v@gyuvetch.bg

1. Въведение

Основното предназначение на пречиствателната станция за питейни води (ПСПВ) „Бистрица“ е пречистване на водите, подавани към водопроводната система на гр. София, но в първоначалния проект там е било предвидено изграждане на изравнителен компенсационен резервоар, който да поеме част от неравномерностите в консумацията на вода, който по финансови причини все още не е изграден. Това на настоящия етап създава известни експлоатационни трудности при регулиране на водоподаването от станцията, изразяващи се в частично изпразване на напорния тръбопровод след разпределителната шахта, след ПСПВ и пулсации на налягането в него при последващо пълнене с вода. Поради изключително сложния характер на хидравличното действие на системата беше взето решение за провеждане на хидравлични моделни изследвания в Централната научноизследователска лаборатория за хидравлични изследвания върху физичен модел на изходната разпределителна камера и компенсационния резервоар, свързан с камерата чрез две тръбни връзки, както и байпасния тръбопровод от резервоара до съществуващия напорен тръбопровод.

2. Цел на изследванията

По-важните задачи за решаване с помощта на моделните изследвания са:

– Изясняване на хидравличното действие на тръбопровода с диаметър 2500 mm и обща дължина 75 m, свързващ събирателната шахта в ПСПВ с изходната разпределителна камера. Аериране на течението в тръбопровода от падащата след преливника струя. Действие при безнапорен, преходен и напорен режим в зависимост от подаваното водно количество Q и водните нива в камерата. Необходимост от предвиждане на въздушници.

– Установяване на колебанията на водните нива по дължина на разпределителната камера в зависимост от подаваното към София водно количество и котата на водното ниво в изходната част на камерата, откъдето започва напорният тръбопровод при хидравличната схема на напълно вдигнати всички саваци.

– Определяне на разпределението на средните по вертикали скорости на течението в разпределителната камера в характерни напречни профили за характерни водни количества.

– Установяване на гранични водни нива във входната шахта на напорния тръбопровод, рискови за засмукване на въздух в зависимост от моментното водно количество, подавано към София чрез регулиране от затворния орган тип “Джонсон” в края на напорния тръбопровод.

– Необходимост от маневриране със затворните органи (саваците), разположени в разпределителната камера общо 8 на брой, за стационариране на водните нива по дължината на камерата в зависимост от постъпващите от ПСПВ водни количества.

– Обща хидравлична картина във входната част на разпределителната камера и компенсационния резервоар при затваряне на саваци III и IV и на отваряне на савак VII. Определяне на преливната височина и хидравличното действие на преливника.

– Установяване на водното ниво, респективно дълбочината в компенсационния резервоар при поддържане на минимална кота ВН при входната част на съществуващия тръбопровод 739,05 за различни водни количества.

– Определяне на времето за преминаване на водата от преливника до входа на байпасния тръбопровод при протичане през компенсационния резервоар.

- Разпределение на скоростите в характерни сечения на компенсационния резервоар (дънни и повърхностни) при преминаване на водни количества от 2,50 до 6,75 m³/s за две характерни нива в резервоара.
- Влияние на котата на преливника върху колебанията на водните нива във входната част на разпределителната камера и възможностите за нейната оптимизация.
- Оптимизиране на обема на компенсационния резервоар от хидравлична гледна точка.
- Хидравлично действие на резервоара при отваряне на връщателния тръбопровод към средната част на разпределителната камера в случаи на преливане над страничната стена при кота било преливник 740,65.
- Хидравлично действие на резервоара при необходимост от допълнително хлориране и авария в байпасния тръбопровод.
- Изследване на възможностите за съвместна работа на компенсационния резервоар, респективно разпределителната камера и изградените резервоари “под Симеоново”.

3. Избор на подходящ геометричен мащаб

При хидравлично моделиране на безнапорни съоръжения като камери, резервоари, шахти, преливници и водопроводящи съоръжения, действащи както в безнапорен, така и в напорен режим, когато хидравличните явления и хидродинамичните параметри се определят от гравитационните сили, меродавен критерий на подобие е критерият на Reech-Froud, записан във вида

$$Fr = \frac{V^2}{gh} = idem, \quad (1)$$

където Fr_n , Fr_m са респективно числата на Froude за натура и модела.

Освен този критерий за физични модели, изпълнени при недеформирани мащаби (вертикален и за планови размери), е необходимо спазването и на условието

$$J = idem, \quad (2)$$

където J е хидравличния наклон на течението (за случая наклона на водната повърхност в разпределителната камера).

Съгласно теорията на хидравличното моделиране максималният геометричен мащаб за модела се определя от условието за създаване на адекватен хидравличен режим за натурния обект и физичния модел. Това условие се изпълнява само когато при преминаване на меродавното оразмерително водно количество за главното съоръжение съответно за натура и модел се формира автономна хидравлична област на съпротивление и за двата обекта.

Определящ показател е числото на Рейнолдс за модела, което за характерно сечение на изследваното съоръжение следва да е равно или по-голямо от установената гранична препоръчителна стойност $Re_{гр}$.

Съгласно специалната литература при моделиране на открити течения в камери и резервоари се препоръчва $Re_{гр} = 1,2 \cdot 10^4$ до $1,4 \cdot 10^4$.

Като характерен напречен профил от камерата следва да се избере билото на преливника между входната и средната част на разпределителната камера.

При положение че се приеме непотопено преливане между входната и средната част на камерата, дълбочината над билото на преливния праг с ↓ 739,55 ще бъде

$$Q_{\text{пр}} = m \varepsilon_k b_{\text{пр}} \sqrt{2gH_{\text{пр}}^{3/2}}, \quad (3)$$

където m е коефициент на водното количество. За този трапецовиден напречен профил m може да се приеме $m \approx 0,44$;

ε_k – редукиционен коефициент от странична контракция на преливащата струя.

При обтичането на междинния стълб и страничните ниши за $H_{\text{пр}} \leq 1,0$ m може да се приеме $0,88 \div 0,92$;

$b_{\text{пр}}$ – преливната широчина на двете полета; $b_{\text{пр}} = 7,0$ m. При $Q_{\text{пр}} = 6,75$ m се получава $H_{\text{пр}} = 0,67$ m, а дълбочината върху билото на преливника

$$H_{\text{н}}^{\text{хар}} = 0,75 \cdot 0,67 = 0,50;$$

$$\text{Re}_{\text{н}}^{\text{хар}} = \frac{V_{\text{н}}^{\text{хар}} h_{\text{н}}^{\text{хар}}}{\nu} = \frac{193 \cdot 50}{0,0105} = 9,19 \cdot 10^5.$$

Ако се приеме $\text{Re}_{\text{гр}}^{\text{прел}} = 1,3 \cdot 10^4$ за M_L^{min} , се получава

$$M_L^{\text{min}} = \left(\frac{9,19 \cdot 10^5}{1,3 \cdot 10^4} \right)^{0,667} = 17.$$

За напорните тръбопроводи е необходима проверка за формиране на автономна зона на съпротивление по критерия:

$$\text{Re}_{\text{гр}}^{\text{прел}} < \text{Re}_{\text{гр}}^{\text{авт.с.}}; \quad (4)$$

$$\text{Re}_{\text{гр}}^{\text{авт.с.}} = \frac{14R_{\text{м}}}{\Delta_{\text{м}}^{\text{екв}} \sqrt{\lambda_{\text{н}}}}, \quad (5)$$

където $R_{\text{м}}$ и $\Delta_{\text{м}}^{\text{екв}}$ са хидравличният радиус и еквивалентната грапавина на напорния тръбопровод II нитка с $D = 1700$ (за модела $\varnothing = 117$ mm);

$\lambda_{\text{н}}$ – коефициент на триене по дължина за натура в напорния тръбопровод.

Като се има предвид, че стандартните прозрачни тръби от плексиглас на пазара са със стандартни външни диаметри: 125; 150; 180; 200 mm и т.н., при спазване на условието $M_L^{\text{min}} \leq 17$ за изпълнение на тръбопроводите в натура $D_y = 2100$ mm и

$D_y = 1700$ mm, за изпълнение на модела бяха избрани следните плексигласови тръби:

- за моделиране на $D_y = 2500 \rightarrow d_{\text{м}}^{\text{вън}} = 180$ ($d_{\text{м}}^{\text{вътр}} = 172$ mm);
- за моделиране $D_y = 1700 \rightarrow d_{\text{м}}^{\text{вън}} = 125$ ($d_{\text{м}}^{\text{вътр}} = 117$ mm).

Следователно геометричния мащаб за изпълнение на физичния модел е:

$$M_L = \frac{2500}{172} = 14,53; \quad M_L = \frac{1700}{117} = 14,53.$$

За определяне $Re_{гр}^{авт.с.}$ по формула (5) параметрите R_M и $\Delta_M^{екв}$ са както следва:

$$R_M = \frac{117}{4} = 29,25 \text{ mm} = 0,2925 \text{ m};$$

$\Delta_M^{екв}$ – за нови плексигласови тръби е 0,1 mm;

λ_H – може да се изчисли по формулата на Бар

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_H}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_M^{екв}}{3,7d_H} + \frac{5,13}{Re_H^{0,89}} \right). \quad (6)$$

При стоманени тръби в експлоатация около 10 години $\Delta_M^{екв} \approx 0,7 \text{ mm}$
 $Re_H = 4,67 \cdot 10^6$, $\lambda = 0,0219$.

Следователно за $Re_{гр}^{авт.с.}$ се получава

$$Re_{гр}^{авт.с.} = \frac{14 \cdot 29,25}{0,1 \sqrt{0,022}} = 2,7 \cdot 10^4,$$

която стойност е около 2 пъти по-голяма от приетата $Re_{гр}^{прил} = 1,3 \cdot 10^4$ и допълнителното условие за напорните тръбопроводи е също изпълнено.

За удовлетворяване на кинематичното и динамично подобие на двете течения за натура (прототип) и модел е необходимо спазването на двете условия:

$$\lambda_H = \lambda_M, \text{ респективно } C_H = C_M, \quad (7)$$

където λ_H , λ_M са коефициентите на триене по дължина;

C_H , C_M са скоростните множители на Шези също за натура и модел.

От равенството $C_H = C_M$, познавайки грапавината на бетонните повърхности в разпределителната камера и в напорните тръбопроводи, може да се определи приблизителната стойност на коефициента на грапавина за модела. При определяне на C по формулата на Манинг за n_M ще се получи стойността

$$C_M = \frac{1}{n_M} R_M^{1/6} = C_H = \frac{1}{n_H} R_H^{1/6}, \quad (8)$$

респективно

$$n_M = \frac{n_H}{(R_H / R_M)^{1/6}} = \frac{n_H}{M_R^{1/6}} = \frac{n_H}{M_L^{1/6}}. \quad (9)$$

При $n_H = 0,0135$ се получава $n_M = 0,0087$.

От нашия опит и литературни данни плексигласовите повърхности в начало на експлоатацията осигуряват коефициент на грапавина $n_M \approx 0,009$.

Приетият за моделиране (изпълнение на физичния модел) геометричен мащаб 1:14,53 обуславя следните мащабни коефициенти за преизчисляване на измерените върху модела хидравлични параметри към натура.

$$M_V = \sqrt{M_L} = \sqrt{14,53} = 3,81;$$

$$M_p = M_h = M_L = 14,53;$$

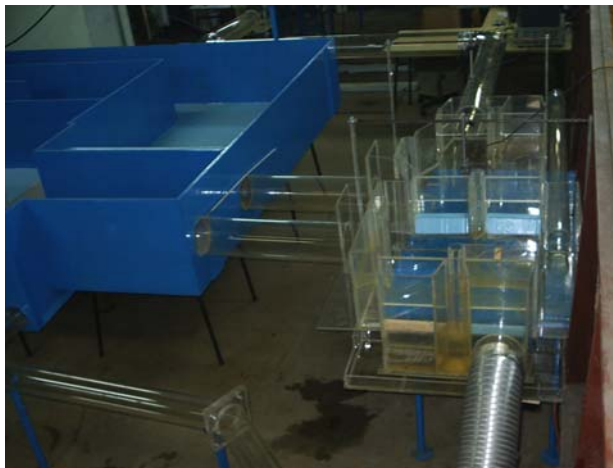
$$M_Q = M_L^{5/2} = 14,53^{2,5} = 805;$$

$$M_t = \sqrt{M_h} = \sqrt{14,53} = 3,81,$$

където M_V , M_Q , M_t и M_F са мащабни числа за скоростите, водните количества, времето и силите.

4. Описание на хидравличния модел

Физическият модел, изпълнен в хидравличната лаборатория към Хидротехническият факултет на УАСГ, може да бъде разделен условно на 4 части от гледна точка на проведените хидравлични изследвания (фиг. 1).



Фиг. 1. Общ вид на модела

Горен участък, включващ захранващ напорен тръбопровод, мерен триъгълен преливник, събирателна камера с преливаема стена, входна шахта към захранващия тръбопровод, както и самия тръбопровод с $D_y = 2500 \text{ mm}$ ($d_m = 172 \text{ mm}$) с обща дължина $L_m = 5,15 \text{ m}$, свързващ входната шахта след преливника, разположена в машинната зала на ПСПВ с изходната разпределителна камера, намираща се в двора на пречиствателната станция.

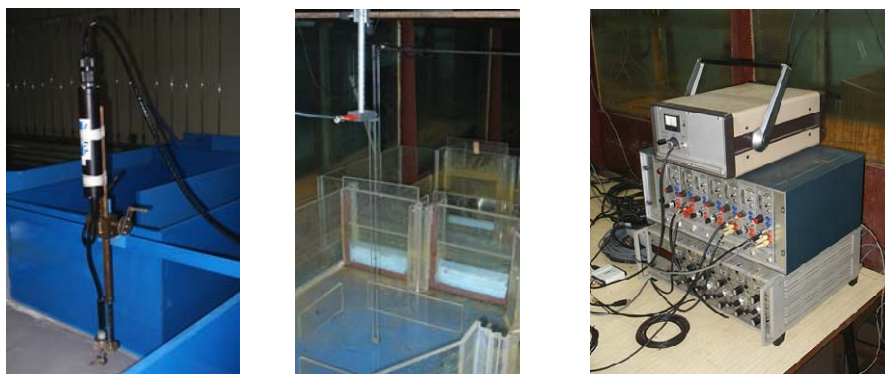
Разпределителна камера, оборудвана с 8 плоски затворни органа, от които понастоящем са затворени четири (савациите II, V, VII и VIII). Всички хидравлични изследвания са извършени при предпоставка за напълно отворени I, III, IV и VI савак.

Напорен тръбопровод след разпределителната камера за водоснабдяване на гр. София. Този тръбопровод в началния участък е с $D_y^H = 2500$ ($d_M = 172$ mm) и обща дължина по трасето $L_H = 11,50$ m., след което с плавен преход преминава в тръбопровод с $D_y^H = 1700$ ($d_M = 117$ mm), след което следва към хоризонтален участък от няколко метра, в който зауства и тръбопроводът от компенсационния резервоар. Този участък завършва със затворен орган с $D_y^H = 1700$ mm, разположен в суха апаратна камера. След затворния орган следва главен напорен тръбопровод за София със същия диаметър 1700 mm. Общата дължина на изследвания тръбопровод е около 1,0 km за натура, като в края му е монтиран водомерно устройство на ултразвуков принцип. На разстояние около 10÷15 има отклонение с $D_y = 1200$ mm с монтиран регулиращ водното количество затворен орган тип “Джонсон”. Преди водомерното устройство има изградено отклонение с $D_y^H = 500$, затворен орган и напорен тръбопровод към резервоари “Под Симеоново”.

Компенсационен резервоар. В идеен стадий на проектиране осигурява работен обем – $W = 6000$ m³. Този резервоар, предмет на подробни хидравлични моделни и теоретични изследвания, представлява сложна хидравлична система – хранващ се с към напорен тръбопровод от камерата. В него е разположен преливник – слабоваткуумен профил и циркуляционни коридори, след които от специална камера е предвиден свързващ към напорен тръбен участък също с $D_y^H = 1700$ mm, представляващ безопасна връзка към водопровода. В случай на авария в хранващата система и резервоара, е проектиран връщателен тръбен участък с диаметър $D_y = 2500$ mm, свързващ компенсационния резервоар със средната част на разпределителната камера, в която е изпълнен преливник в страничната стена. Всички елементи на описания компенсационен резервоар са моделирани точно в приетия геометричен мащаб.

Съгласно техническото задание характерните водни количества, за които са извършени хидравличните моделни изследвания, са от 2,50÷6,75 m³/s.

Преди провеждане на изследванията са измервани водни количества, водни нива, скорости на течението и хидродинамични налягания. На фиг. 2 са показани част от уредите, с които са проведени измерванията.



Фиг. 2 – а) Ултразвуков скоростомер; б) съпротивителен нивомер; в) усилватели

5. Резултати от моделните изследвания

Преди началото на същинските моделни изследвания е извършено калибриране на модела, като за целта са проведени натурни измервания на котите на водната повърхност по дължина на изследвания участък между входната и изходната шахта за водно количество $2,50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Освен това са проведени изчисления за определяне на загубите по дължина в участъка от напорния тръбопровод след шахтата с дължина около 1000 m при водно количество $5,00 \text{ m}^3/\text{s}$. За тяхното коректно моделиране на модела са изпълнени 2 диафрагми със стеснение от 117 на 85 mm , чийто коефициент на съпротивление е изчислен по формулата на М. Carlier:

$$\xi_{\text{д}} = \frac{1}{9} + \left(\frac{\omega_{\text{тр}}^{\text{м}}}{K' \omega_0^{\text{д}}} - 1 \right)^2, \quad (10)$$

където:

$$\omega_{\text{тр}}^{\text{м}} = \frac{3,14 \cdot 11,7^2}{4} = 107,45 \text{ cm}^2;$$

$$\omega_0^{\text{диаф}} = \frac{3,14 \cdot 8,5^2}{4} = 56,71 \text{ cm}^2;$$

K' – коефициент от $0,58$ до $0,62$ (приема се $0,60$);

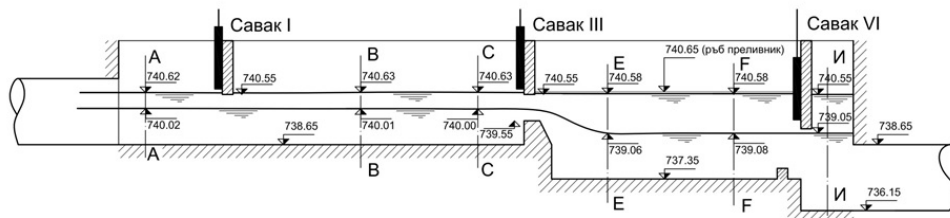
$$\xi_{\text{диаф}} = 0,11 + 4,69 = 4,80.$$

Дължината на напорния тръбопровод на модела е $13,5 \text{ m}$.

Разпределителна камера

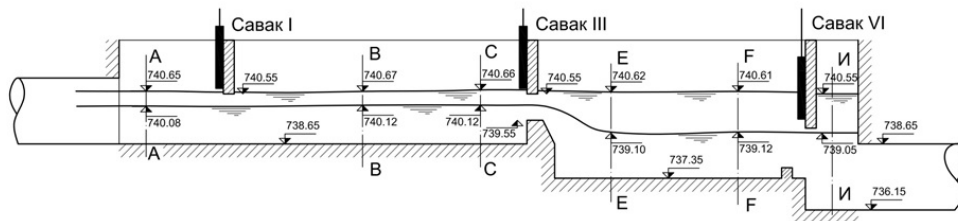
Хидравличното действие на разпределителната камера е изследвано за три характерни водни количества: $Q = 3,10 \text{ m}^3/\text{s}$, $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$ и $Q_{\text{max}} = 6,75 \text{ m}^3/\text{s}$ при поддържане на две характерни водни нива, съответно максимално $=740,55$ (недопускане на преливане) и минимално $=739,00$ (недопускане на засмукване на въздух).

При водно количество $Q = 3,10 \text{ m}^3/\text{s}$ под савачните затвори се формира изтичане през потопени отвори (отворите под савачите I, III, IV и VI). Течението в изходното сечение на заустващия тръбопровод остава безнапорно с дълбочина между $1,95 \div 1,97$. Колебанията на водните нива по дължината на разпределителната камера и за двете характерни коти ВН е минимално (в интервала от 1 до $3,0 \text{ cm}$).



Фиг. 3. Водни нива в разпределителната камера при $Q = 3,1 \text{ m}^3/\text{s}$

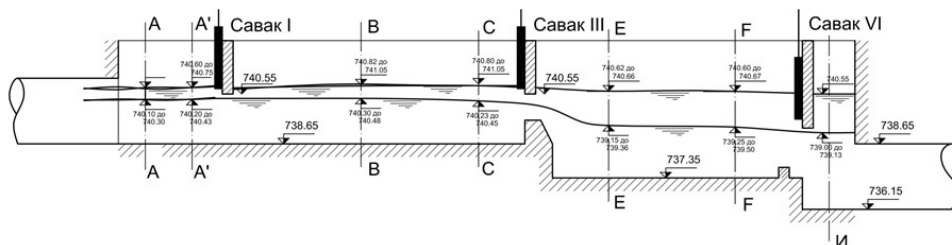
При водно количество $Q = 5,20 \text{ m}^3/\text{s}$ колебанията и за двете характерни коти в мерен профил И–И са в интервала от 7 до 15 cm, като по-големи са за по-високото ниво ($\text{ВН}^{\text{И}} = 740,55$).



Фиг. 4. Водни нива в разпределителната камера при $Q = 5,2 \text{ m}^3/\text{s}$

При водно количество $Q = 6,75 \text{ m}^3/\text{s}$ хидравличната картина в разпределителната камера е същата, както и при изследванията с по-малки водни количества ($3,10$ и $5,20 \text{ m}^3/\text{s}$), т.е. хидравличната връзка между предната и средната част на камерата е преливане над непотопен преливник практически профил с преливна височина $H_{\text{пр}} = 0,75 \text{ m}$. При поддържане на кота водно ниво в изходната камера около $740,55$, колебанията на водните нива в нея са ограничени до $7 \div 8 \text{ cm}$ вследствие на пулсациите на водните нива в средната част на камерата периодически се наблюдава слабо преливане с преливна височина от 1 до $2,0 \text{ cm}$, но само в участъци между профилите във вертикали Е–Е и F–F. Прелелият обем в страничната събирателна камера за интервал от $1,0$ час е около $W = 4,3 \text{ m}^3$.

При изходното сечение на тръбопровода с $D_y = 2500 \text{ mm}$ дълбочината е около осреднена стойност от $2,0 \text{ m}$ с пулсации до 25 cm . Течението е стабилно безнапорно, но с тласъци на порционно изхвърляне на въздушни джобове и мехури.



Фиг. 5. Водни нива в разпределителната камера при $Q = 6,75 \text{ m}^3/\text{s}$

Сегашно положение

Течението в захранващия тръбопровод, свързващ ПСПВ с разпределителната камера, е неустойчиво и силно аерирано по цялата му дължина. За малки водни количества – от $2,50$ до $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ течението по цялото протежение на тръбопровода остава безнапорно. При пропускане на сравнително големи водни количества $Q = 5 - 6,75 \text{ m}^3/\text{s}$ течението в захранващия тръбопровод зависи и от формираните се водни нива във входната шахта на напорния тръбопровод за водоснабдяването на София. Хидравлич-

ната картина в разпределителната камера зависи от два параметъра: протичащото водно количество и формиращата се кота във входната шахта на водопровода към София.

За да се получи устойчив режим в работата на напорния водопровод за София, водното ниво във входната му шахта трябва да бъде $\min 739,00$, т.е. да се осигури дълбочина до горния край на тръбопровода с $D_y = 2500 - \Delta h = 0,30-0,35$ m, осигуряваща незасмукването на въздух.

Компенсационен резервоар

Изследвани са четири варианта на компенсационен резервоар, които се отличават по обема, котата на преливния ръб на входното съоръжение и дължината на циркулационните коридори.

- Вариант 1 – проектен – обем $W = 6000 \text{ m}^3$ и кота било преливник 741,15;
- Вариант 2 – обем $W = 6000 \text{ m}^3$ и кота било преливник 740,65;
- Вариант 3 – обем $W = 6000 \text{ m}^3$, кота било преливник 740,65 и удължение на циркулационните стени с 6 m;
- Вариант 4 – обем $W = 4000 \text{ m}^3$, кота било преливник 740,65.

Хидравличните моделни изследвания на компенсационния резервоар са проведени със същите характерни водни количества, както и при разпределителната камера, а именно:

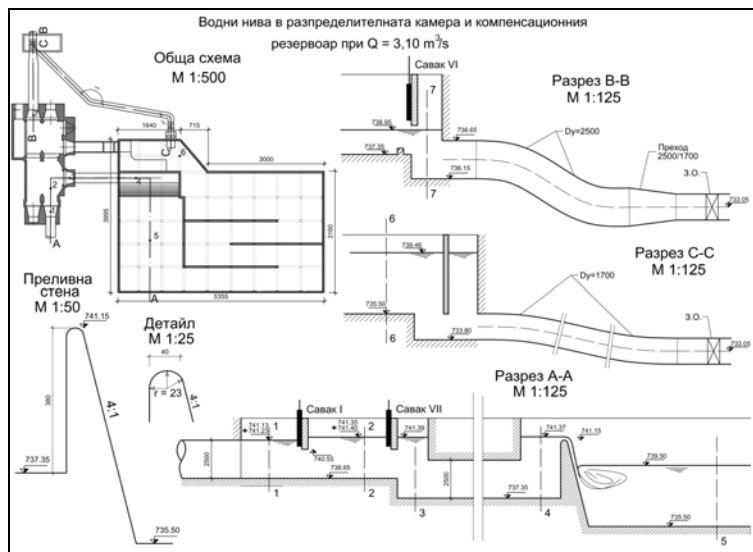
$$Q = 3,10 \text{ m}^3/\text{s}; \quad Q = 5,20 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{и} \quad Q = Q_{\max} = 6,75 \text{ m}^3/\text{s}.$$

За всеки от изследваните случаи е направено измерване на водните нива, скоростта на водния поток в резервоара и времето за престой на водата в него. Специално внимание е отделено на разположението на мъртви зони. Фигури 6–8 са пример за онагледяване на хидравличното действие на системата.

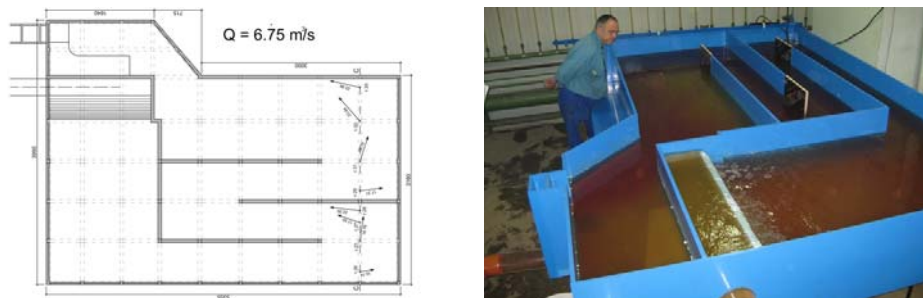
Измерването на скоростите на модела е извършено със специален датчик, регистриращ моментната скорост в дадена точка в две направления – x и y . След необходимата допълнителна обработка на получените данни са изчислени векторите скорост, които са представени с посока и големина. В табл. 1 е показано времето за престой на водата в компенсационния резервоар при различните изследвани случаи.



Фиг. 6. Връзка между разпределителната шахта и компенсационния резервоар



Фиг. 7. Връзка между разпределителната шахта и компенсационния резервоар



Фиг. 8. Движение на водата в компенсационния резервоар

Таблица 1

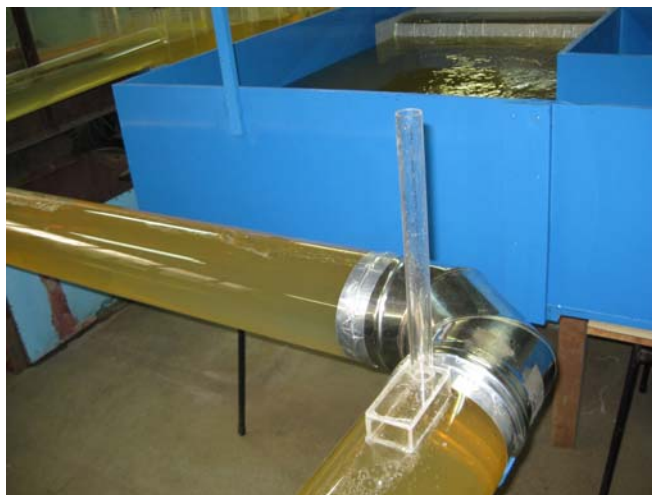
Проектен вариант и Вариант II			
Водно количество, постъпващо от ПСПВ	Движение по повърхността на течението	Време за дотичане на целия обем	Общо време за преминаване на течението
m ³ /s	t ₁ (min)	t ₂ (min)	t _{об} (min)
3.1	21	3	24
5.2	13	2	15
6.75	10	1	11
Вариант III			
3.1	23	4	27
5.2	14.5	3	17.5
6.75	11	1.5	12.5
Вариант IV			
3.1	17	2	19
5.2	10.2	1.3	11.5
6.75	8	0.5	8.5

За проектния вариант приетата кота преливник 741,15, равна на котата на темето на изход тръбопровод, създава неблагоприятен хидравличен режим в системата. Течението в захранващия тръбопровод с $D_y = 2500 \text{ mm}$ е слабонапорно с транспортиране на големи въздушни джобове и мехури, което води до генериране на пулсации по неговата дължина и увеличение на хидродинамичното налягане. Освен това в предната част на разпределителната камера се получава интензивно колебание на водните нива, както при преминаване на $Q_{\text{max}} = 6,75 \text{ m}^3/\text{s}$, което достига до 40 cm.

С цел подобряването на хидравличната картина в захранващия тръбопровод и разпределителната камера е предложен II вариант на преливника в компенсационния резервоар с кота било преливник = 740,65, т.е. 0,50 m по-ниска от проектната. В изходното сечение водното ниво пулсира слабо, като по-често се формира свободен горен край на тръбата, т.е. течението е почти безнапорно и транзитирането и изтласкването на въздушни джобове и мехури е незначително. Този положителен и благоприятен ефект за подобряване динамиката на течението както в разпределителната камера и подходящия участък към преливника в компенсационния резервоар, от една страна, така и в захранващия тръбопровод от ПСПВ до разпределителната камера, от друга, се дължи на поставянето на специален въздушник за изпускане на излишния въздух, аерира силно течението след преливната шахта (фиг. 9).

При вариант 3 след увеличаване на циркуляционните стени с по 6 m, времето за преминаване на водата през резервоара се увеличава с около 8–10%.

При вариант 4 общата хидравлична картина вътре в резервоара е с по-неблагоприятни кинематични параметри спрямо циркуляцията на течението. Времето за преминаване на течението се намалява средно с около 20–25% спрямо предходния вариант.



Фиг. 9. Движение на водата в компенсационния резервоар

Оформянето и конструкцията на въздушника е показано на фиг. 10. След изграждане на същия почти напълно бяха отстранени пулсациите в довеждащия тръбопровод и входната шахта на разпределителната камера.



Фиг. 10. Изпълнение на въздушника в сградата на ПСПВ

6. Заключение

Резултатите от представените моделни изследвания представляват надеждна основа за вземане на правилни управленски решения по отношение на експлоатацията на разпределителната шахта преди началото на напорния тръбопровод и реалната необходимост от изграждане на компенсационен резервоар.

STUDY OF THE UNSTEADY PROCESSES IN THE OUTLET FACILITIES OF DWTP “BISTRITSA”

N. Lissev¹, V. Kukurin², S. Tachev³, P. Todorov⁴

Keywords: hydraulic modeling, hydraulics, unsteady processes, weirs

Research area: hydraulics

ABSTRACT

The article presents results of a hydraulic model study concerning hydraulic performance of the outlet chamber and the connecting pipes of DWTP “Bistritsa”. Special attention is paid to the operation of the low pressure pipe, delivering water to the distribution chamber, the water level oscillations in the chamber, the limiting water levels in the inlet chamber of the low pressure pipe. The risk of air suction into the pipe has been estimated as well. Scenarios for optimization of the control valves operation were tested.

An application of an additional compensator-reservoir is modeled as well. The main parameters, studied on this model are the velocity distribution in the reservoir, the influence of the weir crest elevation, the optimal reservoir volume and the flow time in the reservoir.

¹ Nikolay Lissev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dpt. “Hydraulics and Hydrology”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: lisev_fhe@uacg.acad.bg

² Vladimir Kukurin, Eng., Dpt. “Hydraulics and Hydrology”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: v_kukurin@yahoo.com

³ Sava Tachev, Dr. Eng., Dpt. “Hydraulics and Hydrology”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: sava371@abv.bg

⁴ Petar Todorov, Eng., Dpt. “Hydraulics and Hydrology”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: peter_v@gyuvetch.bg