

Environmental Aspects and Operation Mode of Small Hydropower

Josifs Survilo (Riga Technical University)

Keywords – dam, efficiency, environment, small hydro.

I. INTRODUCTION

With expensive fuel it is necessary to pay attention to renewable sources of energy. Now we have to use also small rivers for electric energy production. However building the dams harms the environment. A lot of ponds appear and the rivers are partitioned. Safety aspect also comes into force [1].

II. THE WAYS OF UTILIZING THE WATER ENERGY

To avoid these shortcomings, it should be tried to avoid the use of dams. This can be done with water wheels which utilize the power of water stream but their efficiency is so small that one can not count on them. Otherwise it is necessary to create the water pressure. In order to turn a turbine, pile-up of the water is needed.

Let us recall the basic relations.

Power P generated by hydro:

$$P = \eta \Delta p_e \Phi, \quad (2)$$

where η is an efficiency factor; Δp_e is pressure drop for generation of electricity; Φ is rate of water flow to a turbine.

$$p = \Delta p_e + \Delta p_p, \quad (3)$$

where p , Δp_p are total pressure, its drop on the way to turbine.

$$\Delta p_e = kp, \quad (4)$$

where k shows the share of useful water pressure.

Overall efficiency factor η_{oa} can be defined by:

$$\eta_{oa} = k\eta. \quad (6)$$

III. PENSTOCK INSTEAD OF DAM

It should be recommended to use the penstock (pipe) at places where river has large slope. The bulk of water inside pipe is directed to the turbine and a small part of it – by its natural course. The water flowing in the pipe is subjected to resistance R_h against its flow. The water flow in completely filled pipe can be of two ways: laminar and turbulent [3]. In larger velocities it is turbulent; in small ones it is laminar.

Laminar flow can not be reckoned with. It requires very large pipe diameters.

Turbulent flow is described by Darcy – Weisbach [7] equation:

$$h_p = f \frac{Lv^2}{2gD_p}, \quad (17)$$

where h_p is head loss for water flow in the pipe; f is Moody friction factor; g is free fall acceleration; v is average velocity of water; D_p and L are pipe internal diameter and length.

Flow rate can be determined (ρ – water density) so:

$$\Phi = \pi \sqrt{\frac{D_p^5 \Delta p_p}{8f\rho L}} = \pi \sqrt{\frac{D_p^5}{8f\rho L \Delta p_p}} \Delta p_p, \quad (20)$$

Resistance to turbulent water flow is:

$$R_h = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{8f\rho L \Delta p_p}{D_p^5}} = \frac{2f\rho Lv}{\pi D_p^3}. \quad (21)$$

If we want to have a given water flow in a pipe by some pressure Δp_p than internal pipe diameter should be:

$$D_p = \sqrt[5]{\frac{8f\rho L \Phi^2}{\pi^2 (1-k)p}}. \quad (22)$$

Generated power is:

$$P = \eta \pi k p \sqrt{\frac{D_p^5 (1-k)p}{8f\rho L}} = \eta \pi \sqrt{\frac{D_p^5 p^3}{8f\rho L}} \sqrt{k^2 - k^3}. \quad (23)$$

Maximum power, using pipe of diameter D_p and sufficient river flow, sets in by $k = 2/3$, and then it is:

$$P_{max} = 0.4275 \eta \sqrt{\frac{D_p^5}{f\rho L}} \sqrt{p^3}. \quad (25)$$

The overall efficiency factor is $\eta_{oa} = (2/3)\eta$.

If maximum power P_{max} is given, the diameter must be:

$$D_p = 1,4048 \sqrt[5]{\frac{f\rho L P_{max}^2}{\eta^2 p^3}}. \quad (28)$$

The water flow in a river is unstable and now electricity generation is tied to river flow. Since such a hydro must be connected to a grid and operation mode is that of generation in the rhythm of the river.

The pipe must be permanently filled with water, by smaller water flow rate h_p decreases and useful factor k grows.

The slope of river can be artificially increased.

IV. CONCLUSIONS

1. Building the small hydro using the pipe instead of dam satisfies environmental aspects.

2. Theoretically such hydropower using the pipe instead of dam is possible on other rivers, however practically the expenses on pipe should be taken into account.

3. Efficiency of pipe hydro is smaller than the dam hydro since part of water pressure is lost in the pipe.

6. Pipe hydropower must be connected to a grid and its operation should be in the rhythm of river flow.

REFERENCES

- [1] Niklas Sparw, Johan Sällfors, Cracks in hydropower concrete structures – a study at the Uri Hydroelectric Power Project, Jammu & Kashmir state, India, Chalmers Tekniska Högskola Institutionen för Byggnadsmaterial, 1995, pp.9 – 13.
- [3] Laminar and turbulent flow of fluids, <http://www.scribd.com/doc/27113441/Laminar-Flow-and-Turbulent-Flow-of-Fluids>.
- [7] Darcy – Weisbach equation, http://en.wikipedia.org/wiki/Darcy-Weisbach_equation

Mazo hidrostaciju vides aspekti un darba režīms

Josifs Survilo (*Riga Technical University*)

Atslēgvārdi (angl.) – dam, efficiency, environment, small hydro.

I. IEVADS

Dārgais kurināmais liek pievērsties atjaunojamā kurināmā avotiem. Mūsdienās elektrības ražošanai jāizmanto arī mazās ūdes. Bet būvējot dambjus, tiek degradēta apkārtējā vide, rodas daudz dīķu, ūdes tiek aizsprostotas. Nedrīkst aizmirst arī par drošību [1].

II. ŪDENS ENERĢIJAS IZMANTOŠANAS VEIDI

Lai izvairītos no iepriekšminētajiem trūkumiem, ir jāmēģina iztikt bez dambja. To var izdarīt, lietojot ūdens ratus, kas izmanto ūdens straumes spēku, bet to lietderība ir tik maza, ka ar tiem nevar rēķināties. Bet tad ir nepieciešams izveidot ūdens spiedienu. Lai grieztu turbīnu, ir nepieciešams sakrāt ūdeni.

Atcerēsimies pamatsakarības.

Generēta jauda P :

$$P = \eta \Delta p_e \Phi, \quad (2)$$

kur η ir lietderības koeficients, Δp_e – spiediena kritums; kas ir nepieciešams elektrības ģenerēšanai; Φ – ūdens plūsmas uz turbīnu ātrums.

$$p = \Delta p_e + \Delta p_p, \quad (3)$$

kur p un Δp_p pilns spiediens un tā kritums pa ceļam uz turbīnu.

$$\Delta p_e = kp, \quad (4)$$

kur k rāda uz ūdens spiediena lietderīgo daļu.

Kopējo lietderības koeficientu η_{oa} var noteikt šādi:

$$\eta_{oa} = k\eta. \quad (6)$$

III. CAURULE DAMBJA VIETĀ

Jāmēģina pielietot cauruli tajās vietās, kur ūpei ir liels slīpums. Lielākā ūdens daļa pa cauruli tiek virzīta uz turbīnu, un tas, kas paliek - pa dabisko ūdens gultni. Pa cauruli plūstošajam ūdenim jāpārvar pretestība tā kustībai R_h . Pilnīgi aizpildītajā caurulē ūdens var tecēt divos veidos: laminārā vai turbulenta plūsmā [3]. Lielākā ātrumā plūsma ir turbulenta, mazākā – lamināra.

Ar lamināro plūsmu nevar rēķināties, jo tai vajadzīgs ļoti liels caurules diametrs.

Turbulento plūsmu apraksta Darcy – Weisbach'a vienādfība:

$$h_p = f \frac{Lv^2}{2gD_p}, \quad (17)$$

kur h_p ir ūdens augstuma zudums, lai grūstu ūdeni pa cauruli; f ir Moody berzes koeficients; g – brīvā kritiena paātrinājums; v – vidējais ūdens ātrums plūsmā; D_p – caurules iekšējais diametrs; L – caurules garums.

Plūsmas ātrumu var noteikt šādi (ρ ir ūdens blīvums) :

$$\Phi = \pi \sqrt{\frac{D_p^5 \Delta p_p}{8f\rho L}} = \pi \sqrt{\frac{D_p^5}{8f\rho L \Delta p_p}} \Delta p_p \quad (20)$$

un pretestība turbulenta plūsmai ir:

$$R_h = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{8f\rho L \Delta p_p}{D_p^5}} = \frac{2f\rho Lv}{\pi D_p^3}. \quad (21)$$

Lai būtu nepieciešamā ūdens plūsma Φ , pie zināma spiediena krituma Δp_p ir nepieciešams šāds diametrs D_p :

$$D_p = \sqrt[5]{\frac{8f\rho L \Phi^2}{\pi^2(1-k)p}}. \quad (22)$$

Ģenerētā jauda ir:

$$P = \eta \pi k p \sqrt{\frac{D_p^5(1-k)p}{8f\rho L}} = \eta \pi \sqrt{\frac{D_p^5 p^3}{8f\rho L}} \sqrt{k^2 - k^3}. \quad (23)$$

Maksimālā jauda, ja ir caurules diametrs D_p un pietiekama ūdes plūsma, iestājas pie $k=2/3$, un tad tā ir:

$$P_{max} = 0.4275 \eta \sqrt{\frac{D_p^5}{f\rho L}} \sqrt{p^3}. \quad (25)$$

Kopējais lietderības koeficients ir $\eta_{oa} = (2/3)\eta$.

Ja ir uzdots maksimālā jauda P_{max} , ir nepieciešams diametrs:

$$D_p = 1,40485 \sqrt[5]{\frac{f\rho L P_{max}^2}{\eta^2 p^3}}. \quad (28)$$

Ūdes plūsma ir nestabila un ar to ir saistīta ģenerēšana. Hidrostacija ir pievienota enerģosistēmai, un tās darbs pakļauts ūdes ritmam.

Caurulei vienmēr jābūt aizpildītai ar ūdeni, pie mazākā ūdens plūsmas ātruma h_p samazinās un lietderība (k) aug.

Ūdes nolieci var maksimāli palielināt.

IV. SECINĀJUMI

1. Mazajās hidrostacijās, dambja vietā pielietojot cauruli, tiek ievērotas apkārtējās vides prasības.

2. Teorētiski šādas hidrostācijas, ar cauruli dambja vietā, ir iespējamas uz daudzām upēm, bet praktiski ir jāreķinās ar izdevumiem.

3. Šādu hidrostaciju lietderības koeficients ir zems, jo daļa ūdens spiediena tiek zaudēta caurulē.

6. Šī hidrostacija ir pievienota pie tīkla un tās darbs notiek ūdens plūsmas ritmā.

REFERENCES

- [1] Niklas Sparw, Johan Sällfors, Cracks in hydropower concrete structures – a study at the Uri Hydroelectric Power Project, Jammu & Kashmir state, India, Chalmers Tekniska Högskola Institutionen för Byggnadsmaterial, 1995, pp.9 – 13.
- [3] Laminar and turbulent flow of fluids, <http://www.scribd.com/doc/27113441/Laminar-Flow-and-Turbulent-Flow-of-Fluids>.
- [7] Darcy – Weisbach equation, [http://en.wikipedia.org/wiki/Darcy-Weisbach-equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Darcy-Weisbach_equation).

Режим работы малых гидроэлектростанций в свете сохранения окружающей среды

Josifs Survilo (Riga Technical University)

Ключевые слова (англ.) – dam, efficiency, environment, small hydro.

I. ВВЕДЕНИЕ

При удорожании топлива следует обращаться к возобновляемым источникам энергии. Теперь приходится возвращаться к малым гидроэлектростанциям, но они вредят окружающей среде. Речки перегородены, возникают пруды. И безопасность нельзя сбрасывать со счетов [1].

II. Пути использования энергии воды

Избавиться от этих недостатков можно, если отказаться от дамб. Водяные колеса используют силу водяного потока, но их эффективность столь мала, что на них не приходится рассчитывать. Но тогда каким-то образом нужно создавать давление воды. Для вращения турбины необходимо, чтобы вода двигалась под напором.

Напомним основные соотношения.

Генерируемая мощность P :

$$P = \eta \Delta p_e \Phi, \quad (2)$$

где η – КПД; Δp_e – давление воды, затрачиваемое на генерирование; Φ – скорость потока воды к турбине.

$$p = \Delta p_e + \Delta p_p, \quad (3)$$

где p и Δp_p – полное и падение давления на пути к турбине.

$$\Delta p_e = kp, \quad (4)$$

где k указывает на полезную часть давления воды.

Общий КПД η_{oa} :

$$\eta_{oa} = k\eta. \quad (6)$$

III. НАПОРНЫЙ ТРУБОПРОВОД ВМЕСТО ДАМБЫ

Необходимо пытаться использовать трубопровод (трубу) в местах, где река имеет большой наклон. Основной поток направляется по трубе к турбине, а остальное – по руслу. В трубе вода встречает сопротивление движению R_h . Поток воды в заполненной трубе может быть ламинарным или турбулентным [3].

Ламинарный поток требует больших диаметров трубы.

Турбулентный поток описывается выражением Дарси – Вейсбаха [7]:

$$h_p = f \frac{Lv^2}{2gD_p}, \quad (17)$$

где h_p – затрата напора на движение воды в трубе; f – коэффициент трения Муди; g – ускорение свободного падения; v – средняя скорость воды; D_p и L – внутренний диаметр трубы и ее длина.

При плотности воды ρ скорость потока воды равна:

$$\Phi = \pi \sqrt{\frac{D_p^5 \Delta p_p}{8f\rho L}} = \pi \sqrt{\frac{D_p^5}{8f\rho L \Delta p_p}} \Delta p_p, \quad (20)$$

Сопротивление турбулентному потоку:

$$R_h = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{8f\rho L \Delta p_p}{D_p^5}} = \frac{2f\rho Lv}{\pi D_p^3}. \quad (21)$$

Для потока Φ в трубе при давлении Δp_p необходим внутренний диаметр трубы D_p :

$$D_p = \sqrt[5]{\frac{8f\rho L \Phi^2}{\pi^2(1-k)p}}. \quad (22)$$

Генерируемая мощность выражается:

$$P = \eta \pi k p \sqrt{\frac{D_p^5(1-k)p}{8f\rho L}} = \eta \pi \sqrt{\frac{D_p^5 p^3}{8f\rho L}} \sqrt{k^2 - k^3}. \quad (23)$$

Максимальная мощность при диаметре трубы D_p и достаточном потоке воды в реке, наступает при $k = 2/3$:

$$P_{max} = 0.4275 \eta \sqrt{\frac{D_p^5}{f\rho L}} \sqrt{p^3}. \quad (25)$$

Общий КПД $\eta_{oa} = (2/3)\eta$.

Если указана максимальная мощность P_{max} , то диаметр:

$$D_p = 1,4048 \sqrt[5]{\frac{f\rho L P_{max}^2}{\eta^2 p^3}}. \quad (28)$$

Поток воды в реке непостоянен и генерация привязана к этому потоку. Поэтому гидроэлектростанция должна быть присоединена к энергосистеме и генерация происходит в ритме течения реки.

Труба должна быть постоянно заполнена водой, при меньших скоростях потока h_p уменьшается и КПД падает.

Наклон русла может быть искусственно увеличен.

IV. ВЫВОДЫ

1. Постройка малой гидроэлектростанции без дамбы удовлетворяет требованиям окружающей среды.
2. Теоретически такие гидроэлектростанции, использующие трубу вместо дамбы, возможны и на других реках, но практически нужно считаться с расходами.
3. Эффективность гидроэлектростанции с трубой ниже, так как часть давления воды теряется в трубе.
6. Гидроэлектростанция с трубой должна быть соединена с сетью и ее работа происходит в ритме течения реки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Niklas Sparw, Johan Sällfors, Cracks in hydropower concrete structures – a study at the Uri Hydroelectric Power Project, Jammu & Kashmir state, India, Chalmers Tekniska Högskola Institutionen för Byggnadsmaterial, 1995, pp.9 – 13.
- [3] Laminar and turbulent flow of fluids, <http://www.scribd.com/doc/27113441/Laminar-Flow-and-Turbulent-Flow-of-Fluids>.
- [7] Darcy – Weisbach equation, http://en.wikipedia.org/wiki/Darcy-Weisbach_equation.