

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჰიდროინჟინერიის დეპარტამენტი
ნ.კოდუა, კ.ხაზალია

მეთოდური მითითება პრაქტიკული და საკურსო სამუშაოების
შესასრულებლად

ჰიდროკვანძის სამეურნეო-ჰიდროენერგეტიულ გაანგარიშებაში

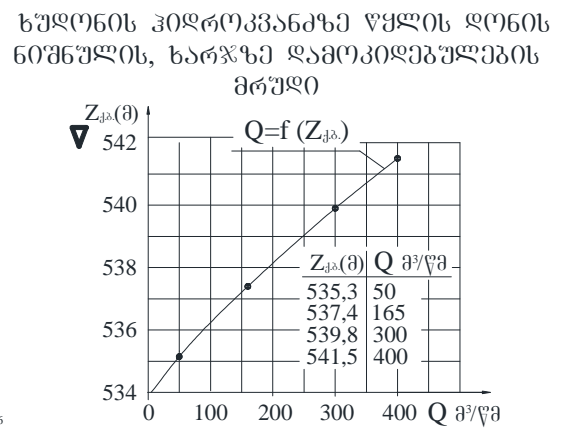
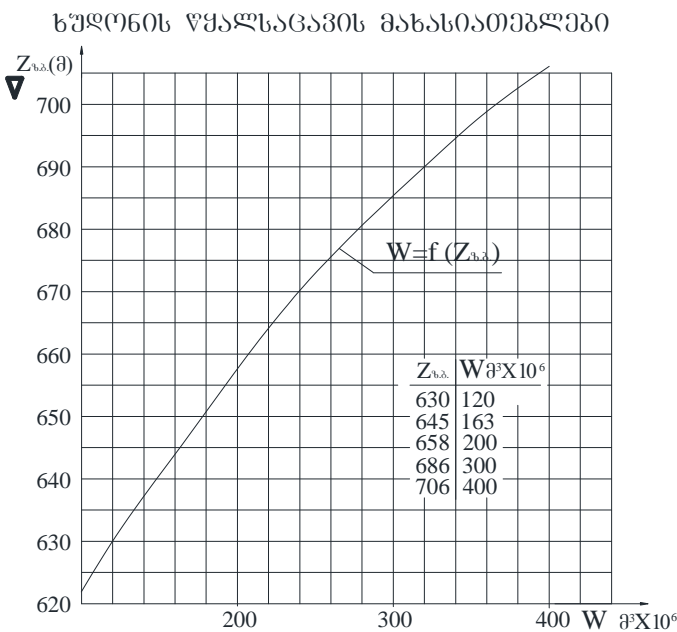
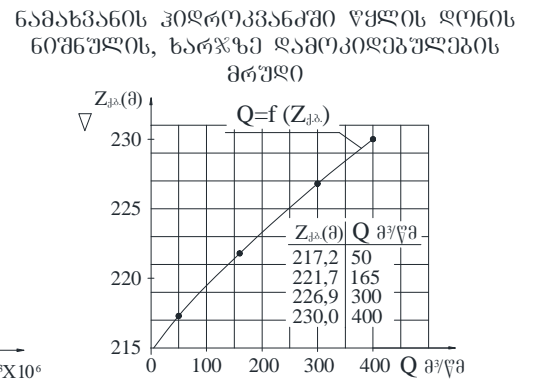
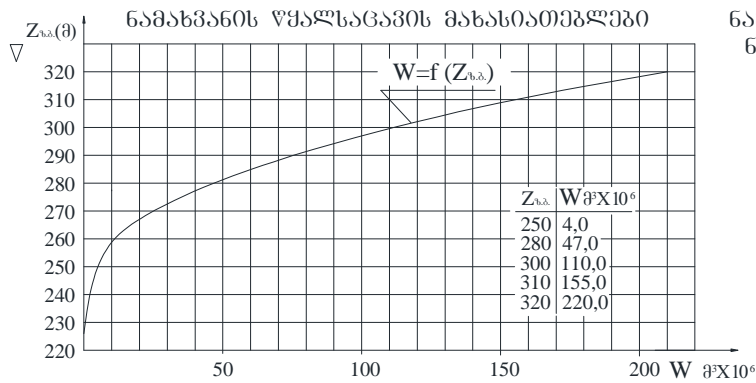
თბილისი 2017

ჯგ N _____ სტუდენტი: _____

ამოსავალი მონაცემები

N ვარიანტი													
მდინარე -----													
N ^o	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1													
2													
3													
L _{დგრ} =													

ჰიდროკვანძების მახასიათებლების გრაფიკული ნაწილი



ხელმძღვანელი: _____

მდინარეების ჰიდროლოგიური მონაცემების ვარიანტები

I ვარიანტი													
მდინარე რიონი-სად.ნამახვანი													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1931-32	47,5	62,4	227	244	350	320	268	137	125	111	65,6	75,8
2	1939-40	110	96,6	94,5	285	357	275	277	235	199	291	178	117
3	1973-74	37,7	49,7	125	184	224	228	217	119	49,1	76,6	111	97,1
Lდგრ=													

II ვარიანტი													
მდინარე რიონი-სად.ნამახვანი													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1936-37	54,2	123	160	400	276	329	262	159	108	204	167	135
2	1935-36	30,2	53,6	85	240	247	209	149	106	100	65,2	74,7	89,1
3	1977-78	75,5	125	191	272	281	228	199	176	178	159	98,6	83
Lდგრ=													

III ვარიანტი													
მდინარე რიონი-სად.ნამახვანი													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1940-41	115	140	194	400	276	329	262	159	108	204	167	135
2	1955-56	54,7	79,4	87,5	240	247	209	149	106	100	65,2	74,7	89,1
3	1959-60	82,3	139	103	272	281	228	199	176	178	159	98,6	83
Lდგრ=													

IV ვარიანტი													
მდინარე რიონი-სად.ნამახვანი													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1951-52	72,2	106	128	173	245	245	183	115	126	186	135	109
2	1962-63	114	83,5	99,5	163	193	158	136	97,8	57,4	87,5	49	129
3	1978-79	116	128	113	306	348	361	268	238	105	102	99,1	96,5
Lდგრ=													

V ვარიანტი													
მდინარე რიონი-სად.ნამახვანი													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1956-57	50,3	70,5	168	343	394	405	255	159	157	116	209	121
2	1969-70	50,3	114	117	182	246	189	127	90,1	61,1	87,2	62,2	79,5
3	1982-83	45,7	64,1	150	362	355	270	266	189	89,5	40,3	48,4	41
Lდგრ=													

VI ვარიანტი													
მდინარე ხუდონი-სად.ხაიში													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1942-43	15,9	14,1	14,4	68,9	174	192	225	145	72,9	30,1	35,1	25,2
2	1983-84	30,9	28	45,5	119	250	263	381	328	179	117	107	57,8
3	1986-87	19,5	20,2	26,9	112	147	314	359	225	130	42,3	32,3	23,1
Lდგრ=													

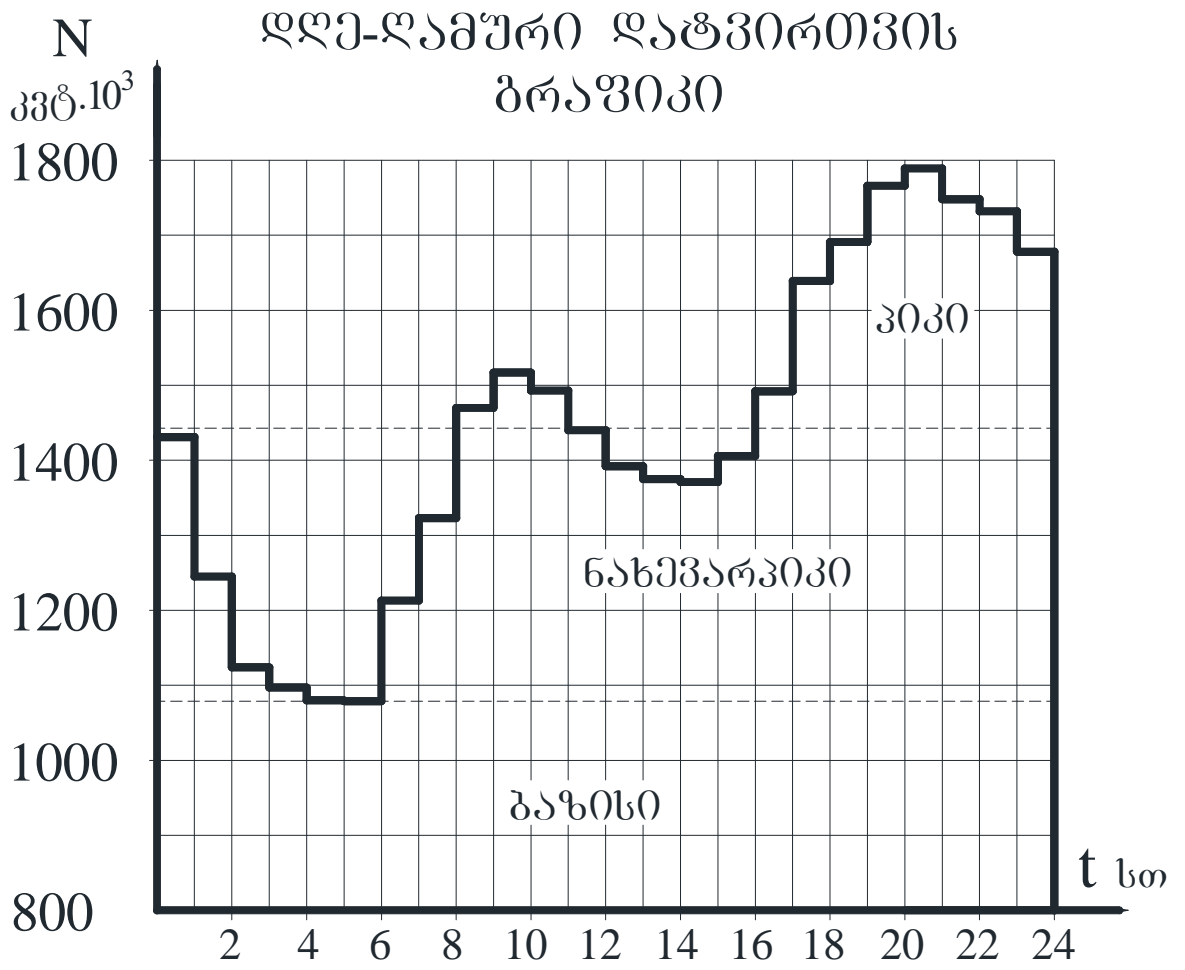
VII ვარიანტი													
მდინარე ხუდონი-სად.ხაიში													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1943-45	25,7	19,1	17,7	38,6	87,6	121	138	126	57,6	41	34	22,2
2	1967-68	28,2	21,6	30	63,5	198	205	256	252	93	54,2	34,6	34,2
3	1978-79	33,2	42,8	51,2	71,5	207	301	467	320	127	88,3	53,8	33,2
Lდგრ=													

VIII ვარიანტი													
მდინარე ხუდონი-სად.ხაიში													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1945-46	26,2	21,2	22,9	47,4	105	143	162	118	83,4	56,3	40,1	31,7
2	1966-67	19,2	16,2	19,5	94,5	195	274	243	250	111	49,8	31,5	25,5
3	1982-83	27,1	27	37,3	148	314	378	410	222	125	49	35,6	27,3
Lდგრ=													

IX ვარიანტი													
მდინარე ხუდონი-სად.ხაიში													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1969-70	20,3	20,6	35,2	61,2	174	203	163	162	77,9	42,2	27,3	25,4
2	1965-66	37,3	32,6	37,6	96,5	229	278	271	212	105	52,1	41,9	35,2
3	1979-80	19,3	19,7	33,5	145	338	354	320	264	134	60,9	104	51,5
Lდგრ=													

X ვარიანტი													
მდინარე ხუდონი-სად.ხაიში													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1973-74	67,9	147	202	240	196	64,3	48,1	43,8	37,6	28,2	26	44,8
2	1982-83	27,1	27	37,3	148	314	378	410	222	125	49	35,6	27,3
3	1987-88	30,5	27,6	41,2	75,1	408	603	586	354	137	98,1	49,6	46,5
Lდგრ=													

XI ვარიანტი													
მდინარე ხუდონი-სად.ხაიში													
№	წლები	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1942-43	15,9	14,1	14,4	68,9	174	192	225	145	72,9	30,1	35,1	25,2
2	1983-84	30,9	28	45,5	119	250	263	381	328	179	117	107	57,8
3	1986-87	19,5	20,2	26,9	112	147	314	359	225	130	42,3	32,3	23,1
Lდგრ=													



შესავალი

ცნობილია, რომ მდინარის ჩამონადენის ცვალებადობის ხასიათი არ შეესაბამება ადამიანის მიერ წყალზე მოთხოვნილების ცვალებადობის ხასიათს. ამიტომ ისმის საკითხი, მდინარის ჩამონადენი გადანაწილდეს ადამიანის მოთხოვნილების შესაბამისად, ასეთ გადანაწილებას რეგულირებას უწოდებენ. ცხადია, რომ სხვადასხვა ორგანიზაცია და საწარმო აყენებს სხვადასხვა მოთხოვნას როგორც წყლის ხარჯვის ოდენობაზე, ასევე წყლის მოხმარების რეჟიმზე. აქედან გამომდინარე, რეგულირების მიზანია შექმნის დაგეგმვარად ერთდროულად დააკმაყოფილოს ეს მოთხოვნები. ამ მიზნის განსახორციელებლად მდინარეზე იქმნება ჩამონადენის სარეგულაციო წყალსაცავები. მათი საშუალებით შესაძლებელი ხდება წყალმომხმარებლებს მივაწოდოთ გაცილებით უფრო მეტი წყალი გაზრდილი მოთხოვნილების პერიოდში, ვიდრე ეს მოხერხდებოდა ბუნებრივი ჩამონადენის შემთხვევაში. წყლის რაოდენობრივ გადანაწილებას წყალსაცავიდან სხვადასხვა ორგანიზაციებს შორის საფუძვლად უნდა დაედოს თითოეული ორგანიზაციის მიერ მაქსიმალური მოგების მიღების პრინციპი, მაგრამ, რადგანაც სხვადასხვა ორგანიზაცია და საწარმო ურთიერსაწინააღმდეგო მოთხოვნებს აყენებს, ასეთი პრინციპი სახალხო მეურნეობისათვის მთლიანობაში შეიძლება არახელსაყრელი აღმოჩნდეს. ისეთი მომხმარებლებისათვის, რომლებიც წყალსამეურნეო კომპლექსში ძირითადად წარმოადგენენ, შესაძლებელია ვისარგებლოთ წარმოებული პროდუქციის ერთეულზე მინიმალური დანახარჯების მიღების პრინციპით.

საქართველოში, განსაკუთრებით კი მის დასავლეთ ნაწილში, ცყლის ძირითად მომხმარებელს წარმოადგენს ჰიდროენერგეტიკა, რის გამოც ამ უკანასკნელისთვის შესაძლებელია ისეთი კრიტერიუმის მიღება, რომლის მიხედვითაც ჰესის გამოყენება მიზანშეწონილია სისტემის დღე-ღამური დატვირთვის გრაფიკის პიკურ ნაწილში. გარკვეულ პირობებში ეს კრიტერიუმი სეგვიძლია შეეცვალოს უფრო მარტივი (გომომუშავებული ენერჯის მაქსიმუმის) კრიტერიუმით. მიღებული კრიტერიუმები საშუალებას იძლევა ცალსახად განვსაზღვროთ ჰიდროელექტროსადგურის მიერ წყლის მოხმარების რეჟიმი, ე.ი. ტურბინებში გასული ხარჯის ცვალებადობის კანონი საანგარიშო პერიოდისათვის და მაშასადამე, მაქსიმალური (დადგმული) სიმძლავრეც და საშუალო მრავალწლიური გამომუშაებაც. ასეთი გაანგარიშების სირთულის გამო სტუდენტს არ მოეთხოვება რომელიმე კრიტერიუმის მიხედვით წყლის მოხმარების ოპტიმალური რეჟიმის დადგენა. თუმცა, მიუხედავად ამისა, მან უნდა იცოდეს რეალურ პროექტში გამოყენებული ის თანმიმდევრობა, რომელსაც მიყვავართ წყალსაცავისა და ჰიდროელექტროსადგურის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენამდე. მაგალითად, პროექტის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების სტადიაზე (ტედ), შეიძლება რა ხელსაყრელი კვეთი მდინარეზე ეკონომიკური ტიპის კაშხლის განსახორციელებლად, წარმოებს გაანგარიშებები ყველაზე ხელსაყრელი ნორმალური შეტბორვის დონის (ნშდ) ნიშნულის დასადგენად. ეს გაანგარიშებები მოითხოვს დაინიშნოს რამდენიმე შეტბორვის ნიშნული და თითოეული მათგანისათვის მიღებული კრიტერიუმის საფუძველზე დადგინდეს წყლის მოხმარების ოპტიმალური რეჟიმი, რაც გამოავლენს წყალსაცავის დამუშაების ოპტიმალურ სიღრმეს, დადგმულ სიმძლავრესა და საშუალო მრავალწლიურ გამომუშაებას. გვექნება, რა ელექტროსადგურის ასეთი პარამეტრები შეტბორვის სხვადასხვა ნიშნულისათვის და აგრეთვე მისი შესაბამისი დაყვანილი დინამიური დანახარჯები, შეგვიძლია ვიპოვოთ დასაპროექტებელი სადგურის განსახილველი ვარიანტის ტოლფასი (შემცველი) ელექტროსადგურისათვის საჭირო დაყვანილი დანახარჯები. ცხადია, ნშდ-ის

ზრდასთან ერთად ერთეული პროდუქციის მისაღებად საჭიროა დაყვანილი დინამიკური დანახარჯების გაზრდა, მაგრამ დამატებითი 1 კვტ სიმძლავრის მისაღებად საჭირო დინამიკური დანახარჯები მცირდება, როდესაც ეს ნაზრდი გაუტოლდება შემცველ ელექტროსადგურზე (მაგ., საკონდენსაციო სადგურზე) სათანადო ენერჯის მისაღებად საჭირო დანახარჯების ნაზრდს, მივიღებთ უხელსაყრელეს ნშდ-ის ნიშნულს. ამ ნიშნულისათვის ჩატარებული გაანგარიშების მიხედვით უკვე გრძელად იქნება წყლის მოხმარების ოპტიმალური რეჟიმი და, მაშასადამე, შესაბამისად წყალსაცავის დამუშავების ოპტიმალური სიღრმე, დადგმული სიმძლავრე და საშუალო მრავალწლიური გამომუშავება.

საკურსო პროექტში, ზემოაღნიშნულისაგან განსხვავებით, ნშდ ინიშნება წინასწარ, ადგილმდებარეობის ტოპოგრაფიული და გეოლოგიური პირობების გათვალისწინებით.

წყალსაცავის დამუშავების სიღრმედ კი აიღება კაშხლით შექმნილი დაწნევის დაახლოებით ერთი მესამედი, ე.ი. $h_{\text{დაწ}} = \frac{H_{\text{შებ}}}{3}$. გარდა ამისა, ნშდ-სა და

$h_{\text{დაწ}}$ -ის დადგენისას მხედველობაში მიიღება მდინარის ზემო ან ქვემო წელზე აშენებული ელექტროსადგურების ზემო და ქვემო ბიეფების ნიშნულები, წყალსაცავის ტაფობის ტოპოგრაფია (რაც გამოსახულია წყალსაცავის მოცულობის მრუდის მოხაზულობით), გეოლოგია (გრუნტის ფილტრაციის მახასიათებელი) და მრავალი სხვა ფაქტორი. აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინება საკურსო პროექტში ხდება მასწავლებელთან შეთანხმებით. მოდინებული ხარჯის ჰესის მიერ (ოპტიმალური რეჟიმის დადგენა) პროექტში შეცვლილია წყალმცირობის პერიოდში მოდინებული ხარჯის შეძლებისდაგვარად გაზრდითა და გათანაბრებით. ასეთი გაზრდისა და გათანაბრების ხარისხი დამოკიდებულია წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობაზე.

რადგანაც ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სპეციალობის სტუდენტებისათვის ჰიდროენერგეტიკული გაანგარიშებანი და ჰესის შენობის დაპროექტება კეთდება ერთად, პირველ საკურსო პროექტში ეს ანგარიშები გავერთიანეთ ერთ მეთოდურ მითითებაში.

ჰიდროსადგურების მშენებლობის სპეციალიზაციის სტუდენტებისათვის ეს ანგარიშები კეთდება გაყოფილად-პირველი და მეორე საკურსო პროექტის სახით.

ამოსავალი მონაცემები ჰესის ჰიდროენერგეტიკული გაანგარიშებისათვის

1. საშუალო თვიური ხარჯები უხვწყლიანი, საშუალოწყლიანი და მცირეწყლიანი წლებისათვის (ცხრილი).
2. წყალსაცავში წყლის დონესა და მოცულობას შორის დამოკიდებულების მრუდი (ნახ.1).
3. ქვემო ბიეფში წყლის დონესა და ხარჯს შორის დამოკიდებულების მრუდი (ნახ.2).
4. ენერგოსისტემის დღე-ღამური დატვირთვის გრაფიკი, პერსპექტივაში მისი მოხაზულობის ცვლილების მაჩვენებელი კოეფიციენტები (ნახ.3).
5. დერივაციული სადგურისათვის დერივაციისა და სატურბინო მილსადენის ჯამური სიგრძე (L).

წყალსამეურნეო გაანგარიშებები და ჰესის წყალდენით უზრუნველყოფილი სიმძლავრის დადგენა

1. მოცემული საშუალო თვიური ხარჯების საფუძველზე სამი დამახასიათებელი წყალსამეურნეო წლისათვის ვაკეებთ ჰიდროგრაფს

მილიმეტრულაზე (ზომებით 60*100სმ). გრაფიკის აგებისას უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ყველაზე წყალუხვი თვის საშუალო თვიური ხარჯის შესაბამისი ვერტიკალური ზომა მასშტაბში შეადგენს 8სმ-ს; ჰორიზონტალური მიმართულებით—1სმ-ს შეუსაბამებთ 1 თვეს. იმავე ნახაზზე წყვეტილი ხაზით დავიტანოთ საშუალო წლიურისა (წყალსამეურნეო წლისათვის) და საშუალო მრავალწლიურის შესაბამისი წირები (ნახ.4).

2. მოცემული საშუალო თვიური ხარჯების საფუძველზე აიკება ჩამონადენის ინტეგრალური მრუდი ირიბკუთხა კოორდინატთა სისტემაში შემდეგი ფორმულით:

$$W_t = \sum_{t=1}^{t=36} (Q_t - Q_{\text{საშ.მ.წ.}}) \cdot \Delta t \quad (1)$$

სადაც $Q_t (t=1,2,3,\dots,36)$ არის მოდინების საშუალო თვიური ხარჯები წყალსამეურნეო წლის პირველი, მეორე და დანარჩენი თვეებისათვის; $Q_{\text{საშ.მ.წ.}}$ - საშუალო მრავალწლიური ხარჯი და წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს; Δt - დროის ინტერვალი და წლიური ან მრავალწლიური რეგულირების შემთხვევაში, აიღება 1 თვის ტოლად, ე.ი. $\Delta t = 30 \times 24 \times 60 \times 60$ წმ; W_t - ჩამონადენის ის მოცულობა, რომელიც ირიბკუთხა კოორდინატთა სისტემაში ჰორიზონტალურად აღებული ზემოთ ან ქვემოთ უნდა გადაიზომოს (მისი ნიშნის მიხედვით t -ს ყველა მნიშვნელობისათვის, ე.ი. $(t=1,2,3,\dots,36)$). მიზანშეწონილია, W_t -სათვის მასშტაბი ისე შევარჩიოთ, რომ მისი შესაბამისი ვერტიკალური ზომა ნახაზზე შეადგენდეს 7-8 სმ-ს. ამავე დროს ხელსაყრელი იქნება, თუ 1 სმ-ს შეუუსაბამებთ 10-ის ჯერად მოცულობას.

(1) ფორმულის მიხედვით აგებულ ინტეგრალურ მრუდზე გატარებულ ნებისმიერ წრფეს შეესაბამება გარკვეული ხარჯი და ცხადია წრფის დახრის კუთხე განსაზღვრავს მის სიდიდეს.

3. იმისათვის, რომ შეგვეძლოს ამ ინტეგრალური მრუდის სიბრტყეზე გატარებული წრფის შესაბამისი ხარჯის გამოთვლა, საჭიროა კოორდინატთა სათავიდან გავატაროთ ნულოვანი ხარჯის შესაბამისი დახრილი წრფე. ამისათვის უნდა ვიპოვოთ ისეთი წერტილი სიბრტყეზე, რომელიც გამოხატავს ორი ან სამი თვის შესაბამის საშუალო მრავალწლიური ხარჯით გამოთვლილ ჩამონადენის მოცულობას, ე.ი. ირიბკუთხა კოორდინატთა სისტემაში საჭიროა ვიპოვნოთ წერტილი, რომლის აბსცისა $T = 3$ თვეს და ორდინატა $W_0 = 3 \times Q_{\text{საშ.მ.წ.}} \times 30 \times 24 \times 60 \times 60$ მ³. ამავე დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ ნაპოვნი W მოცულობა გადაიზომება t ღერძის ქვემოთ. კოორდინატთა სათავის და ნაპოვნი წერტილის შემაერთებელი წრფე წარმოადგენს ნულოვანი ხარჯის შესაბამის წრფეს. ნახაზზე გატარებული ნებისმიერი წრფის შესაბამისი ხარჯი გამოითვლება ამ წრფესა და ნულოვანი ხარჯის შესაბამის წრფეს შორის არსებული კუთხის მიხედვით. თუ გატარებული წრფე ჰორიზონტალური t -თა ღერძის დადებით მიმართულებასთან მის ქვემოთ ქმნის მახვილ კუთხეს, მაშინ ამ წრფის შესაბამისი ხარჯი (მ³/წმ):

$$Q = (tg\beta \pm tg\alpha) \cdot \frac{m}{n} \quad (2)$$

სადაც β არის კუთხე ღერძსა და გატარებულ ნულოვანი ხარჯის შესაბამის წრფეს შორის; α - კი კუთხე t ღერძსა და გატარებულ წრფეს შორის; m - ნახაზზე 1 სმ-იანი მონაკვეთის შესაბამისი სითვის მოცულობა, მ³; n - იმავე

ნახაზზე t დერძის გასწვრივ აღებული 1 სმ-იანი მონაკვეთის შესაბამისი დრო, φ .

თუ გატარებული წრფე აბსცისათა დერძის ზემოთ ქმნის მახვილ კუთხეს, მაშინ (2) გამოსახულებაში უარყოფითი ნიშანი უნდა შეიცვალოს დადებითი ნიშნით. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მიზანშეწონილია, დროის მასშტაბისათვის 1 სმ-ს შევუსაბამოთ 1 თვე, მაშინ გვექნება $n = \Delta t = 30 \times 24 \times 60 \times 60$ წმ, როგორც ჩანს, m/n თანაფარდობა შერჩეული მასშტაბისთვის წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს.

აგებული ინტეგრალური მრუდის საშუალებით შეგვიძლია ვიპოვოთ წყალსაცავის ის მოცულობები, რომლებიც საჭიროა მცირეწყლიანი, საშუალოწყლიანი და უხვწყლიანი წლების ჩამონადენის დასარეგულირებლად. აქ დარეგულირების ქვეშ იგულისხმება მდინარის მოდინებული უთანაბრო ხარჯის გათანაბრება ისე, რომ წლის შიგნით აღებული ნებისმიერი მომენტისათვის მოხმარების ხარჯი საშუალო წლიური ხარჯის ტოლი იყოს.

სარეგულაციო მოცულობის დასადგენად უნდა გავავლოთ ინტეგრალური მრუდის ისეთი მხები, რომელიც საშუალო წლიური წრფის პარალელური იქნება. ამ ორ წრფეს შორის ვერტიკალური მანძილი გამოხატავს ჩამონადენის დასარეგულირებლად საჭირო წყალსაცავის მოცულობას ($W_{\text{სარ.წლ.}}$).

ანალოგიურად, თუ ინტეგრალურ მრუდზე გავატარებთ ისეთ მხებს, რომელიც საშუალო მრავალწლიური წრფის პარალელური იქნება, შევძლებთ დავადგინოთ ჩამონადენის მთლიანად დასარეგულირებლად საჭირო წყალსაცავის მოცულობა. მიღებული მოცულობების გაყოფით ჩამონადენის საშუალო მრავალწლიურ მოცულობაზე, ვიპოვით წყალსაცავის ტევადობის კოეფიციენტს:

$$\beta = \frac{W_{\text{საბ.წვ.}}}{W_{\text{საშ.მრ.წლ.}}}$$

რადგანაც წყალსაცავის **ნშდ-ს** და დამუშავების პრიზმის სიღრმეს ვნიშნავთ წინამდებარე მითითების შესავალ ნაწილში აღნიშნულ მოსაზრებათა საფუძველზე, მოცულობათა მრუდის გამოყენებით ადვილად დავადგენთ წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობას. ვადარებთ რა ამ მოცულობას ინტეგრალური მრუდიდან ნაპოვნ სარეგულაციო მოცულობებთან, ვაფასებთ შექმნილი წყალსაცავის მარეგულირებელ უნარს. ასე, მაგალითად, თუ მცირეწყლიანი წლის ჩამონადენის დასარეგულირებლად საჭირო $W_{\text{საბ}}$ მოცულობა დაახლოებით დადგენილი სასარგებლო მოცულობის ტოლია, გვექნება წლიური რეგულირების წყალსაცავი, ხოლო თუ აღმოჩნდება, რომ სარეგულაციო მოცულობა შედარებით მცირეა, მაშინ—სეზონური რეგულირების წყალსაცავი.

4. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, საკურსო პროექტით გათვალისწინებული მოცულობით გაანგარიშებათა ჩატარებისას წყალსაცავის მოცულობას ვიყენებთ არა რომელიმე კრიტერიუმიდან გამომდინარე ოპტიმალური რეჟიმის მისაღწევად, არამედ წყალმცირობის ხარჯის გასაზრდელად. ამისათვის—კი საჭიროა აგებული ინტეგრალური მრუდის ქვემოთ ვერტიკალურად გადავზომოთ სასარგებლო მოცულობის ტოლი მონაკვეთები და მათი ბოლოების შეერთებით ავაგოთ ექვიდისტანციური მრუდი. ამ მრუდს ხშირად სასარგებლო მოცულობის მაქსიმალურ ნარჩენთა მრუდსაც უწოდებენ. შემდეგ ამ ორ მრუდს შორის დარჩენილ ზონაში გაჭიმული ძაფის კანონით შეგვიძლია გავატაროთ მოხმარების წრფე, რომლის მიხედვითაც ჰესისათვის მოხმარების ხარჯის დანიშვნა იძლევა არა მარტო წყალმცირობის ხარჯების გაზრდას, არამედ გარკვეულ პერიოდში გათანაბრების საშუალებასაც. მაგრამ, თუ უხვწყლიანი

წლის წყალდიდობის პერიოდში გამოთვლილი ხარჯი აღემატება ტურბინების მაქსიმალური გამტარობის უნარს, ცხადია იგი არ შეიძლება ჰესის მოხმარების ხარჯად ჩაითვალოს. რადგანაც გაანგარიშების პირველ ეტაპზე ჩვენ გამოვითვლით მხოლოდ წყალდენით უზრუნველყოფილ სიმძლავრესა და გამომუშავებას, ხოლო ტურბინების გამტარობის უნარი უცნობია (ე.ი. ტურბინის გამტარობის უნარზე გაანგარიშება არ არის ჩატარებული), ეს შეზღუდვა შეგვიძლია არ გავითვალისწინოთ.

5. გვაქვს რა გატარებული ინტეგრალურ მრუდზე მოხმარების წირი, შეგვიძლია ვიპოვოთ როგორც წყალსაცავში დონის ცვალებადობის გრაფიკი წლის განმავლობაში, ასევე ქვემო ბიეფში წყლის შეტბორვის დონის რხევაც. წყალსაცავში დონის ცვალებადობის გრაფიკი შეგვიძლია ავაგოთ მასში ნარჩენი მოცულობის განსაზღვრის გზით. დროის ნებისმიერი მომენტისათვის წყალსაცავში დარჩენილი სასარგებლო მოცულობა გამოითვლება ინტეგრალურ მრუდსა და მოხმარების წირს შორის არსებული ვერტიკალური მანძილის სათანადო მასშტაბზე გამრავლების გზით. წყალსაცავის მოცულობის მრუდზე ყოველ მოცულობას შეესაბამება გარკვეული შეტბორვის ნიშნული და ამგვარად შეგვიძლია ავაგოთ გრაფიკი $Z_{\text{ნ.ბ.}} = f(t)$. ამ გრაფიკს უფრო სწრაფად ავაგებთ, თუ ნახაზზე ინტეგრალური მრუდის გასწვრივ დავიტანთ მოცულობათა მრუდს ისე, რომ მოცულობებისათვის შერჩეული მასშტაბები ორივე მრუდისათვის ერთნაირი იყოს.

ქვემო ბიეფში დონის ცვალებადობის გრაფიკის ასაგებად ვპოულობთ მოხმარების ხარჯებს ინტეგრალურ მრუდზე გატარებული მოხმარების წირებისათვის. შემდეგ ქვემო ბიეფში დონესა და ხარჯს შორის დამოკიდებულების მრუდის მიხედვით ვაღვენთ ნიშნულებს და ვაგებთ გრაფიკს (ნახ.5).

6. აგებულია რა ზემო და ქვემო ბიეფში დონეთა ცვალებადობის გრაფიკები, ვაგებთ ჰესის სტატიკური დაწნევის გრაფიკს შემდეგი ფორმულით:

$$H_{\text{სტ.}}(t) = f_1(t) - f_2(t) \quad (3)$$

ტურბინის ნეტო დაწნევის გასაანგარიშებლად საჭირო სიგრძეზე და ადგილობრივი დანაკარგების ცოდნა. დანაკარგების ზუსტად გამოთვლა კი დაპროექტების საწყის ეტაპზე შეუძლებელია ელექტროსადგურის წყალგამტარი ტრაქტის ზომებისა და მასში გამავალი ხარჯის რეჟიმის ცოდნის გარეშე. ამიტომ პირველი მიახლოებით ჩატარებულ გაანგარიშებებში, როცა საჭიროა წყალდენის სიმძლავრის მხოლოდ შეფასება, დერივაციული სადგურებისათვის ადგილობრივ დანაკარგებს ვიღებთ სიგრძეზე დანაკარგების 10%-ს. სიგრძეზე დანაკარგების შესაფასებლად ვსარგებლობთ პრაქტიკაში დაგროვილი გამოცდილებით. ცნობილია, რომ ეკონომიური სიჩქარის მნიშვნელობა დერივაციაში იცვლება $V_{\text{პ.}} = (3-5) \text{ მ/წმ}$ -ის ფარგლებში (უფრო დიდი სიჩქარეების დანიშვნა შეიძლება მაშინ, როცა გვირახის დიამეტრი 8-10 მ-ის ტოლია). ამავე დროს თუ გავითვალისწინებთ, რომ სეზონური და წლიური რეგულირების სადგურებში ხერხდება დაახლოებით 10-20% უზრუნველყოფის მქონე საშუალო თვიური ხარჯების გატარება ტურბინებში, ხოლო მრავალწლიური რეგულირების სადგურებში 5-10% უზრუნველყოფისა ცი (რადგანაც ტურბინის საანგარიშო ხარჯი გაცილებით მეტია საშუალო თვიურ ხარჯებზე), ამიტომ გვირახის საორიენტაციო დიამეტრი შეგვიძლია გავიანგარიშოთ ფორმულით:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{P\%}}{\pi \cdot V_{\text{პ.}}}} \quad (4)$$

სადაც $Q_{P\%}$ არის მიღებული უზრუნველყოფის მქონე საშუალო თვიური ხარჯი. თვიური კვირეული და დღე-ღამური რეგულირების სადგურებისათვის

უნდა ავიღოთ სათანადო უზრუნველყოფის საშუალო დღე-ღამური ან საშუალო დეკადური ხარჯი. მათი მნიშვნელობების დასადგენად მოცემული საშუალო თვიური ან საშუალო ინტერვალური ხარჯი უნდა დავალაგოთ ვარიაციულ რიგში და მიღებულ გრაფიკზე ავიღოთ სათანადო უზრუნველყოფის ხარჯი.

ამგვარად გამოვთვალოთ რა (4) გამოსახულების მიხედვით გვირახის დიამეტრს და შესაბამის ჰიდრაულიკურ რადიუსს ($R = d/4$), სიგრძეზე დანაკარგს ვიპოვოთ შემდეგი ფორმულით:

$$h_{\text{ღ}} = \frac{Q_{\text{მ.ბ.}}^2}{\pi^2 \cdot r^4 \cdot c^2 \cdot R} \cdot l \quad (5)$$

სადაც $c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$ არის შეხის კოეფიციენტი; n – ხორკლიანობის კოეფიციენტი და აიღება 0.01-0.025-ის ფარგლებში; l – გვირახის და მილსადენის სიგრძე; Q – მოხმარების ხარჯი და იგი აიღება ინტეგრალურ მრუდზე გატარებული მოხმარების წირის მიხედვით.

დაწნევის მთლიანი დანაკარგები ადგილობრივი დანაკარგების გათვალისწინებით გამოითვლება ფორმულით:

$$h_{\text{ღ}} = h_{\text{ღ.დ.}} + h_{\text{ა.დ.}} = 1.1 \cdot h_{\text{ღ.დ.}}$$

ამგვარად, ნეტო დაწნევა ტურბინებზე დროის ყოველი მომენტისათვის იქნება:

$$H_{\text{ნეტ.}} = H_{\text{სტ.}} - h_{\text{ღ.}} \quad (6)$$

7. ზემოთ აღნიშნულიდან გაანგარიშებები საშუალებებს გვაძლევს საანგარიშო პერიოდის ნებისმიერი ინტერვალისათვის დავადგინოთ ე.წ. ჰესის წყალდენით უზრუნველყოფილი სიმძლავრე შემდეგი ფორმულით:

$$N_{\text{წ.}} = 9.81 \cdot Q_{\text{მ.ბ.}} \cdot H_{\text{ნეტ.}} \cdot \eta_{\text{ტ.}} \cdot \eta_{\text{გენ.}} \cdot \text{კვტ} \quad (7)$$

სადაც $H_{\text{ნეტ.}}$ არის ნეტო დაწნევა და გამოითვლება (6) ფორმულით; $\eta_{\text{ტ.}}$ ტურბინის მ.ქ.-ის კოეფიციენტი აიღება 0.85-0.95-ის ფარგლებში; $\eta_{\text{გენ.}}$ გენერატორის მ.ქ.-ის კოეფიციენტი აიღება 0.95-0.98-ის ფარგლებში. შემდეგ (7) ფორმულის მიხედვით ვაგებთ სიმძლავრის ცვალებადობის გრაფიკს $N_{\text{წ.}} = f(t)$.

უნდა გვახსოვდეს, რომ ამ გრაფიკით შემოფარგლული ფართობი მხოლოდ მიახლოებით გამოხატავს ელექტროსადგურის გამომუშავებას, რადგანაც $N_{\text{წ.}}$ სიმძლავრე გამოითვლება იმ დაშვებით, რომ ტურბინებში დღე-ღამის განმავლობაში გადის თანაბარი $Q_{\text{მ.ბ.}}$ ხარჯი. სინამდვილეში ჰიდროელექტროსადგური მუშაობს დღე-ღამის პიკურ ნაწილში და ტურბინებში გასული ხარჯი მნიშვნელოვნად იცვლება (ღამის საათებში ნულამდეც კი დადის), გარდა ამისა, მოხმარების ხარჯის მიხედვით წყალდენის $N_{\text{წ.}}$ სიმძლავრის გაანგარიშებისას ვერ ხერხდება ტურბინის გამტარობის უნარით გამოწვეული შეზღუდვის მხედველობაში მიღება.

აქედან გამომდინარე, ცხადია, ჰესის მიერ გამომუშავებული ენერჯის დასადგენად საჭირო ხდება მიღებული $N_{\text{წ.}} = f_N(t)$ გრაფიკის დაზუსტება.

8. როგორც აღვნიშნეთ, $N_{\text{წ.}}$ წარმოადგენს საშუალო დღე-ღამურ სიმძლავრეს და იმისდა მიხედვით თუ როგორი მარგულირებელი უნარი გააჩნია წყალსაცავს, ეს სიმძლავრე შეიძლება შენარჩუნებულ იქნას კვირის ან თვის განმავლობაში. მაშინ, ცხადია, ჩატარებული გაანგარიშება მოგვცემს $N_{\text{წ.}}$ -ის

იმდენ მნიშვნელობას, რამდენი კვირა ან თვე არის საანგარიშო პერიოდში (ჩვენს შემთხვევაში $T_{საან} = 3$ წელი).

გამოთვლილი $N_{წწ}$ სიმძლავრეები საჭიროა დავაღაგოთ ვარიაციულ რიგში კლების მიხედვით. თუ ორდინატა ღერძზე გადავზომავთ სიმძლავრეთა სიდიდეებს, ხოლო აბსცისათა ღერძზე-ამ სიდიდეთა აღმატების ალბათობას პროცენტებში, მივიღებთ უზრუნველყოფის მრუდს $N_{წწ} = f_P(P)$ რომელზედაც ყველაზე დიდ სიმძლავრეს შეესაბამება $\frac{1}{n} \cdot 100\%$ უზრუნველყოფა, სადაც n არის $N_{წწ}$ სიმძლავრეთა საერთო რაოდენობა საანგარიშო პერიოდისათვის ყველაზე მცირე სიმძლავრეს შეესაბამება $\frac{n-1}{n} \cdot 100\%$ უზრუნველყოფა. აქედან ცხადია, როცა n საკმაოდ დიდია $n > 30$, მაშინ მცირე სიმძლავრის უზრუნველყოფა უახლოვდება 100%-ს.

სიმძლავრეთა უზრუნველყოფის გრაფიკი მიზანშეწონილია აიგოს $f_N(t)$ გრაფიკის გვერდით, სიმძლავრეებისათვის ერთნაირი მასშტაბის შენარჩუნებით.

ჰესის დადგმული სიმძლავრის შერჩევა და საშუალო მრავალწლიური გამომუშავების შეფასება

პროექტის პირველ ნაწილში ჩატარებული გაანგარიშების საფუძველზე დავადგინეთ, თუ როგორი საშუალო ინტეგრალური (საშუალო დეკადური, საშუალო თვიური და ა.შ.) სიმძლავრეების მიღება შეიძლება წყალდენისაგან სხვადასხვა სიუხვის წლებში. ახლა კი საჭიროა ამ მონაცემებზე დაყრდნობით ვიპოვოთ საპროექტო სადგურის ისეთი სიმძლავრე, რომელიც სისტემის დღე-ღამური დატვირთვის გრაფიკის დაფარვაში ყველაზე რენტაბელური იქნება. ეს არსებითად ჰიდროელექტროსადგურის დადგმული სიმძლავრის შერჩევის ამოცანაა და მისი ჯეროვანი სიზუსტით გადაწყვეტა საჭიროებს სათანადო ტექნიკურ-ეკონომიკურ გაანგარიშებათა ჩატარებას, რომელიც მოიცავს ენერგეტიკული სისტემის სტრუქტურის ოპტიმიზაციის გაანგარიშებასაც. ასეთ გაანგარიშებათა საფუძველზე დგინდება არა მარტო ჰესის დადგმული სიმძლავრე, არამედ მისი დატვირთვის გრაფიკში მონაწილეობის ზონაც.

საკურსო პროექტის მოცულობით, ასეთი გაანგარიშებები არ არის გათვალისწინებული.

დადგმული სიმძლავრე:

$$N_{დად}^{ჰეს} = N_{მუშგარ.}^{ჰეს} + N_{ღამ}^{ჰეს} + N_{რეზ}^{ჰეს} \quad (8)$$

სადაც $N_{მუშგარ.}^{ჰეს}$ არის ჰესის მუშა გარანტირებული სიმძლავრე; $N_{ღამ}^{ჰეს}$ – დამატებითი სიმძლავრე, რომელიც დროის ყველა პერიოდისათვის არ არის უზრუნველყოფილი. ეს სიმძლავრე გამოიყენება მხოლოდ უხვწყლიან წლებში ან წლის წყალდიდობის პერიოდში უქმად გადასადგრელი მოცულობის შესამცირებლად; $N_{რეზ}^{ჰეს}$ – სარეზერვო სიმძლავრე, რომელიც გამოიყენება ავარიის, რემონტისა და სხვა შემთხვევაში.

(8) ტოლობის მიხედვით დადგმული სიმძლავრის დასადგენად საჭიროა შესრულდეს შემდეგი გაანგარიშებები:

1. მოცემული დღე-ღამური დატვირთვის გრაფიკი, რომელიც შეესაბამება წლის ყველაზე უფრო დაძაბულ პერიოდს (დეკემბერ-იანვარს), აგებული უნდა

იქნეს მილიმეტრულაზე საკმაოდ მსხვილ მასშტაბში ისე, რომ მის გვერდით დარჩეს საკმაოდ ადგილი საანალიზო მრუდის ასაგებად. რადგანაც დღე დამური დატვირთვის გრაფიკი ყოველწლიურად იზრდება სიმძლავრეში ენერჯის ახალ მომხმარებელთა გამოჩენის შესაბამისად, საჭიროა აიგოს გრაფიკიც, რომელიც აიგება პირველი გრაფიკის ორდინატების სათანადო კოეფიციენტებზე გადამრავლების გზით. მაგალითად, ხუთი წლის პერსპექტივის გათვალისწინებით, დღე-დამური დატვირთვის გრაფიკის მოხაზულობის მისაღებად შეგვიძლია ავიღოთ კოეფიციენტი $K=1.3$, ხოლო 10 წლის პერსპექტივის გათვალისწინებით- $K=1.6$.

დღე-დამური დატვირთვის გრაფიკი უნდა დაიყოს ზოლებად t -თა ღერძის პარალელური წირებით. მაშინ თითოეულ ზოლში მოქცეული დატვირთვის გრაფიკის ფართობი გამოსატყვის მუშაობას და იგი გამოითვლება ფორმულით

$$\Delta \Theta_i = \Delta N \cdot t_i,$$

სადაც ΔN არის პარალელურ გამყოფ წირებს შორის მანძილი და მასშტაბში გამოსატყვის სიმძლავრეს; t_i -ზოლის საშუალო სიგრძე, რომელიც მასშტაბში გამოსატყვის დროს, სთ.

თუ ასეთ გამომუშავებებს შევკრებთ ზემოდან ქვემოთ, მივიღებთ სიმძლავრეს და გამომუშავებას შორის დამოკიდებულების მრუდს, სადაც

$$\Theta = \sum_{i=1}^n \Delta N \cdot t_i$$

რომელსაც საანალიზო მრუდს უწოდებენ და იგი აიგება დატვირთვის გრაფიკის გვერდით ისე, რომ სიმძლავრის მასშტაბი ორივესთვის ერთი და იგივე იყოს.

2. აგებული საანალიზო მრუდის გამოყენებით უნდა ვიპოვოთ (8) ტოლობის პირველი შესაკრები. ამისათვის საჭიროა განისაზღვროს სიმძლავრის საანგარიშო უზრუნველყოფის სიდიდე პროცენტობით. შემდეგ მისი გამოყენებით ზემოთ აგებული $N_{\text{ვ.გ.}} = f_p(P)$ გრაფიკიდან ვპოულობთ ამ პროცენტის შესაბამის საშუალო თვიურ სიმძლავრეს. სიმძლავრის საანგარიშო უზრუნველყოფის დადგენა, ჩვეულებრივ, ხდება ტექნიკურ-ეკონომიკურ გაანგარიშებათა საფუძველზე, რომელიც ითვალისწინებს ენერგოსისტემაში სიმძლავრის დეფიციტით გამოწვეული ზარალის შეფასებასაც. სტუდენტს შეუძლია ისარგებლოს იმ მოსაზრებით, რომ, რაც უფრო მეტია საპროექტო სადგურის ხვედრითი წონა ენერგოსისტემაში, მით უფრო მეტი უნდა იყოს საანგარიშო უზრუნველყოფა. ასე, მაგალითად, საორიენტაციოდ შეგვიძლია მივიღოთ, რომ, თუ საპროექტო სადგურის სიმძლავრე შეადგენს ენერგოსისტემის მაქსიმალურ სიმძლავრის 15-20%-ს, მაშინ საშუალო თვიური, ანუ, რაც იგივეა (როცა გვაქვს არანაკლებ თვიური რეგულირების სადგური), საშუალო დღე-დამური სიმძლავრის უზრუნველყოფა, შეგვიძლია ავიღოთ 85-97%-ის ფარგლებში. ავიღებთ რა $N_{\text{ვ.გ.}} = f_p(P)$ გრაფიკიდან მიღებულ უზრუნველყოფის შესაბამის სიმძლავრეს, გამოვთვლით სათანადო (ე.ი. ასეთივე უზრუნველყოფის) გამომუშავებას (კვტ).

$$\Theta_{\text{უზ.გ.}} = 24 \cdot N_{\text{უზ.გ.}} \quad (9)$$

ამ გამომუშავებით შეგვიძლია დავფაროთ სისტემის დღე-დამური დატვირთვის გრაფიკის პიკური ან ნახევარპიკური ნაწილი. თუ წყალსაცავის ტევადობა ისეთია, რომ იგი უზრუნველყოფს დღე დამური რეგულირებისათვის საჭირო მოცულობას, ფორმულით გამოთვლილი გამომუშავება უმჯობესია მოვათავსოთ ნახევარ პიკურ ან პიკურ ნაწილში. ამისათვის საჭიროა $\Theta_{\text{უზ.გ.}}$ -ის შესაბამისი მონაკვეთი გადაიზომოს საანალიზო მრუდის Θ -თა ღერძზე. თუ

გამომუშაებას ვათავსებთ მთლიანად პიკში, მაშინ $\mathcal{N}_{\text{ურ}}$ -ის შესაბამისი მონაკვეთის საწყისი უნდა დაემთხვეს საანალიზო მრუდის კოორდინატა სათავეს. ბოლო წერტილზე გავლებული ვერტიკალური წირის გადაკვეთა კი $\mathcal{N} = f(N)$ მრუდთან მოგვცემს 1-2 მონაკვეთს (ნახ.5), რომლის შესაბამისი სიმძლავრეც წარმოადგენს მუშა გარანტირებულ სიმძლავრეს. თუ სისტემის მაქსიმალურ სიმძლავრეს გამოვაკლებთ ნაპოვნ მუშა გარანტირებულ სიმძლავრეს, მივიღებთ ენერგოსისტემაში გაერთიანებულ, სხვა ელექტროსადგურების სიმძლავრეს.

3. (8) ფორმულაში შემავალი $N_{\text{დამ}}^{\text{პეს}}$ სიმძლავრის მნიშვნელობის დასადგენად საჭიროა ჩატარდეს სპეციალური ენერგოეკონომიკური გაანგარიშებები, ხოლო საკურსო პროექტისათვის საკმარისია ვისარგებლოთ ფორმულით

$$N_{\text{დამ}}^{\text{პეს}} = N_{10\%}^{\text{პეს}} - N_{\text{მუშ.გარ.}}^{\text{პეს}} \quad (9^1)$$

სადაც $N_{10\%}^{\text{პეს}}$ არის $f(P)$ გრაფიკიდან აღებული 10% უზრუნველყოფის მქონე სიმძლავრე. თუ აღმოჩნდება, რომ $N_{10\%}^{\text{პეს}} - N_{\text{მუშ.გარ.}}^{\text{პეს}} > 0$, მაშინ დამატებითი სიმძლავრის დადგმა საჭირო არ იქნება.

4. (8) ფორმულის მესამე შესაკრების მნიშვნელობა დგინდება ენერგოსისტემაში გაერთიანებული სხვა ელექტროსადგურების მუშაობის ხასიათის მხედველობაში მიღებით. გაანგარიშებათა გამარტივების მიზნით, საკურსო პროექტში შეგვიძლია საპროექტო სადგურზე სარეზერვო სიმძლავრე გავითვალისწინოთ მაშინ, როცა წინა პროექტში გაანგარიშებათა შედეგად მივიღებთ $N_{\text{დამ}}^{\text{პეს}} = 0$, ე.ი. როცა დამატებითი სიმძლავრე არ იდგმება სადგურზე. ამ შემთხვევაში სარეზერვო სიმძლავრე შეიძლება შეადგენდეს მუშა გარანტირებული სიმძლავრის დაახლოებით 10%-ს, ე.ი. $N_{\text{რეზ}}^{\text{პეს}} = 0.1 \cdot N_{\text{მუშ.გარ.}}^{\text{პეს}}$. იმ შემთხვევაში, როცა $N_{\text{დამ}}^{\text{პეს}} \neq 0$, დადგმულ დამატებით სიმძლავრეს შეიძლება დავაკისროთ სარეზერვო სიმძლავრის ფუნქცია და მაშინ არ არის სავალდებულო ცალკე გავითვალისწინოთ სარეზერვო სიმძლავრე, ე.ი. მივიღოთ, რომ $N_{\text{რეზ}}^{\text{პეს}} = 0$.

5. როცა ზემოთ მოყვანილი წესით ვპოულობთ $N_{\text{მუშ.გარ.}}^{\text{პეს}}$ სიმძლავრეს, ცხადია, იგულისხმება, რომ გვაქვს შეუზღუდავი დღე-ღამური რეგულირების საშუალება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ჩვენ ვერ შევძლებთ დღე-ღამური გამომუშაების პიკურ ნაწილში განთავსებას. ამიტომ საჭიროა ვიცოდეთ წყალსაცავის ის მოცულობა, რომელიც უზრუნველყოფს სადგურის პიკურ ნაწილში მუშაობას. მას ადვილად ვიპოვნით, თუ დაეუშვებთ, რომ დაწინევა სადგურზე დღე-ღამის განმავლობაში უმნიშვნელოდ იცვლება. ასეთი დაშვება ხშირად მისაღებია, რადგანაც დღე-ღამეში დონის ცვალებადობა (დერივაციული და კამხალური ტიპის სადგურებში) საკმაოდ მცირეა, საშუალო დღე-ღამურ დაწინევასთან შედარებით.

რადგანაც საანგარიშო უზრუნველყოფის მქონე საშუალო თვიური სიმძლავრე საჭიროა სისტემაში მიღებულ იქნეს ყველაზე უფრო დაძაბულ, დეფიციტურ პერიოდში—დეკემბრის თვეში, ცხადია, საანგარიშო დაწინევა შეგვიძლია მივიღოთ ამ თვის დაწინევა მცირეწყლიანი თვისათვის. იგი მოიძებნება $N_{\text{ნოვ.}}(t)$ გრაფიკზე, ხოლო მისი შესაბამისი საშუალო თვიური, ანუ რაც იგივეა, საშუალო დღე-ღამური (რეგულირების შემთხვევაში) ხარჯი (მ³/წმ) გამოითვლება ფორმულით

$$Q_{\text{უზრ}} = \frac{N_{\text{უზრ}}^{\text{ჰეს}}}{9.8 \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_{\text{გენ}} \cdot H_{\text{გებ}}^{\text{საანგ}}} \quad (10)$$

ამ ხარჯის შესაბამისმა მოცულობამ ($W_{\text{დღ}} = Q_{\text{უზრ}} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ მ}^3$) ტურბინებში უნდა გაიაროს ისეთი რეჟიმით, რომ უზრუნველყოფილ იქნეს პიკური სიმძლავრეების მიღება. ეს იმას ნიშნავს, რომ დღე-ღამის სხვადასხვა საათისათვის დატვირთვის გრაფიკის იმ ზოლის სიმძლავრეები, რომლებსაც ჩვენი სადგური ფარავს, მიღებული უნდა იქნეს ტურბინებში სხვადასხვა ხარჯის გატარების გზით. ამიტომაც გრაფიკის სათანადო ზოლიდან აღებული სიმძლავრეების შესაბამისი ხარჯი, ($\text{მ}^3/\text{წმ}$) ასე გამოითვლება:

$$Q_i = \frac{N_i}{9.8 \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_{\text{გენ}} \cdot H_{\text{გებ}}^{\text{საანგ}}} \quad (11)$$

აქ $N(i=1,2,\dots,24)$ არის დატვირთვის გრაფიკის იმ ზოლიდან აღებული საშუალო თვიური სიმძლავრეები i -საათისათვის, რომელშიც ჩვენი სადგური მოვათავსეთ; Q_i -მისი შესაბამისი საშუალო თვიური ხარჯი. რადგანაც სისტემის დღე-ღამური დატვირთვის გრაფიკში საპროექტო სადგური მუშაობს მხოლოდ პიკურ ნაწილში (იგულისხმება წყალმცირობის პერიოდი) დღე-ღამის ზოგიერთი საათისათვის სიმძლავრე $N_i = 0$ და, შესაბამისად, $Q_i = 0$ ხარჯი.

(11) ფორმულით გაანგარიშების ჩასატარებლად საჭიროა სადგურის სამუშაოდ განკუთვნილი ზოლი წარმოვადგინოთ დისკრეტული სახით. დისკრეტიზაციის ინტერვალი უნდა იყოს 1სთ-ის ტოლი.

6. გამოვთვლით რა საშუალო თვიურ ხარჯებს (11) ფორმულით, შეგვიძლია ავაგოთ დღე-ღამის განმავლობაში წყალსაცავში მოცულობის ცვალებადობის მრუდი შემდეგი ფორმულით:

$$W_i = \sum_0^i (Q_i - Q) \cdot \Delta t, \text{ მ}^3 \quad (i=1,2,\dots,24), \quad (12)$$

სადაც $\Delta t = 1 \text{ სთ} = 1 \cdot 60 \cdot 60 \text{ წმ}$.

ამ ინტეგრალური მრუდის ზემო და ქვემო უკიდურესი წერტილებიდან უნდა გავატაროთ t -თა ღერძის პარალელური წირი. მათ შორის ვერტიკალური მანძილი მასშტაბში მოგვცემს შეუზრუდავი დღე-ღამური რეგულირებისათვის საჭირო წყალსაცავის მოცულობას. ეს მოცულობა საჭიროა შევადაროთ დღე-ღამის განმავლობაში ტურბინებში გასული წყლის მოცულობას:

$$\beta_{\text{დღეღამური}} = \frac{W_{\text{ნ.ს.}}}{W_{\text{დღეღამური}}}$$

სადაც $W_{\text{დღეღამური}} = 24 \text{ სთ}$.

7. მაქსიმალური სატურბინო ხარჯის საპოვნელად საკმარისია (11) ფორმულაში ჩავსვათ დადგენილი სიმძლავრის მნიშვნელობა

$$Q_{\text{მაქს}} = \frac{N_{\text{დად}}}{9.8 \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_{\text{გენ}} \cdot H_{\text{გებ}}^{\text{საანგ}}} \quad (13)$$

რადგანაც სადგურს $N_{\text{დად}}$ -ზე მეტი სიმძლავრის განვითარება არ შეუძლია, (13) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ, როცა $H_{\text{გებ}} > H_{\text{გებ}}^{\text{საანგ}}$ ტურბინებში გასული ხარჯი ნაკლები იქნება $Q_{\text{მაქს}}$ -ზე. ამიტომაც გავსებულნი ვყალსაცავის შემთხვევაში, თუ სადგური ავითარებს $N_{\text{დად}}$ სიმძლავრეს, ტურბინებში გასული ხარჯი ტოლი იქნება

$$Q_{მაქს}^{წმდ} = \frac{N_{დად}}{9.8 \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_{გენ} \cdot H_{გენ}^{მაქს}} \quad (14)$$

აქედან ჩანს, რომ წყალსაცავის ავსების პერიოდში მაქსიმალური სატურბინო ხარჯი მცირდება $Q_{მაქს}^{წმდ}$ -ის მნიშვნელობამდე (რასაკვირველია, იგულისხმება, რომ სადგური გადასულია ბაზისში მუშაობაზე). ამიტომ როცა გვაქვს სეზონური რეგულირების სადგური და მოსალოდნელია წყალსაცავის სწრაფად ავსება, საჭიროა გავითვალისწინოთ, რომ $Q_{მაქს}^{წმდ}$ -ზე მეტ ხარჯს ვერ გაატარებს წყალსაცავში არსებული დონის წმდ-სთან მიახლოების პერიოდში. მიახლოებით გაანგარიშებებში ძალიან ძნელია წყალსაცავში დონის აწევასთან დაკავშირებით ტურბინების გამტარობის შემცირების გათვალისწინება, რის გამოც შეგვიძლია გამარტივებულად დადგინდეს ის ხარჯი, რომელიც შეიძლება ჩაითვალოს ხარჯის ზღვრულ ან კრიტიკულ მნიშვნელობად და რომლის ზემოთაც მოდინებული წყლის ხარჯი იგულისხმება გადასადგურელად. კერძოდ, ზღვრულ ხარჯად შეიძლება ვიგულისხმოთ ზემოთ განმარტებულ მაქსიმალურ ხარჯთა საშუალო არითმეტიკული, ე.ი. გამოვთვალოთ შემდეგი ფორმულით:

$$Q_{მაქს}^{საშ} = \frac{Q_{მაქს} + Q_{მაქს}^{წმდ}}{2}$$

ამ ხარჯის შესაბამისი მოხმარების წირის ქვედა ექვიდისტანციურ მრუდთან გადაკვეთის მომენტიდან დაიწყება წყალსაცავიდან წყლის გადაღვრა. გადასადგურელი წყლის მოცულობის საპოვნელად საჭიროა ინტეგრალურ მრუდზე გავატაროთ $Q_{მაქს}^{საშ}$ ხარჯის შესაბამისი მხები წირი. მანძილი შესაბამისი წერტილიდან მოხმარების წირამდე ($Q_{მთხ} = Q_{მაქს}^{საშ}$) მასშტაბში მოგვცემს გადაღვრილი წყლის მოცულობას.

9. გაანგარიშების ბოლო ეტაპზე საჭიროა შევავასოთ საპროექტო ელექტროსადგურის საშუალო მრავალწლიური გამომუშავება. ამისათვის საჭიროა ვიპოვოთ სადგურის რეალური დატვირთვის ცვალებადობის გრაფიკი საანგარიშო პერიოდისათვის ($T_{საანგ} = 3$ წელი), მაგრამ რადგანაც სადგურის რეალური დატვირთვის დადგენა დაკავშირებულია მთელ რიგ სირთულეებთან (საჭიროა საოპტიმიზაციო გაანგარიშებათა საფუძველზე სადგურის მართვის დისპეტჩერული გრაფიკის შედგენა), მივმართავთ გამარტივებას:

უპირველეს ყოვლისა, ინტეგრალურ მრუდზე გატარებული $Q_{მაქს}^{საშ}$ ხარჯის შესაბამისი წირის მიხედვით საჭიროა შევასწოროთ $H_{ს\delta}(t)$ ფუნქციის გრაფიკი. ამ გრაფიკიდან ნეტო დაწნევის გრაფიკზე გადასასვლელად უნდა გამოვთვალოთ ჰიდრაულიკური დანაკარგები

$$h_{\Sigma} = h_{ს\delta} + h_{გ} = \frac{1.1 \cdot Q_{\delta}^2}{\omega^2 \cdot c^2 \cdot R} \cdot l \quad (15)$$

სადაც Q_{δ} არის ტურბინებში გამავალი ჯამური ხარჯი; რომლის გამოსათვლელად საჭიროა ვიცოდეთ გვირაბის დიამეტრი. მის დასადგენად შეგვიძლია გამოვიყენოთ ზემოთ აღნიშნული მოსაზრებები იმის შესახებ, რომ ეკონომიკური სიჩქარე გვირაბში გატარებული მაქსიმალური ხარჯისათვის არ შეიძლება აღემატებოდეს 5 მ/წმ-ს

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{მაქს}}{\pi \cdot V_{მბ}}} \quad (16)$$

აქ $Q_{\text{მაქს}}$ -ის მნიშვნელობა აიღება (13) ფორმულის მიხედვით. (15) ფორმულაში შემავალი Q_{δ} ხარჯი იცვლება არა მარტო თვეების მიხედვით, არამედ დღე-ღამის განმავლობაშიც და ამ ცვლილების ზუსტი გათვალისწინება საკმაოდ ძნელია. ამიტომ მიზანშეწონილია იგი შევცვალოთ საშუალო დღე-ღამური $Q_{\text{საშ.დღ}}$ ხარჯით, რომელიც სეზონური ან უფრო ხანგრძლივი რეგულირების შემთხვევაში საშუალო თვიურის ტოლი იქნება და მისი გამოთვლა შეგვეძლება ინტეგრალურ მრუდზე გატარებული მოხმარების წირის მიხედვით.

ჩავთვალოთ, რომ წყალმცირე წლის წყალმცირობის პერიოდში სადგური მუშაობს მუდმივი $N_{\text{მუშ.გარ.}}$ -ის ტოლი სიმძლავრით, მაშინ სადგურის მუშაობის საშუალო ხანგრძლივობა დღე-ღამეში ტოლი იქნება

$$T_{\text{საშ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{უზრ}}}{N_{\text{მუშ.გარ.}}} = \frac{24 \cdot N_{\text{უზრ}}}{N_{\text{მუშ.გარ.}}} \quad (17)$$

საშუალო სატურბინო ხარჯი ამ პერიოდისათვის გამოითვლება დღე-ღამის განმავლობაში ტურბინებში გატარებული წყლის მოცულობის პირობიდან, საიდანაც:

$$Q_{\delta} = \frac{24}{T_{\text{საშ}}} \cdot Q_{\text{უზრ}} \quad (18)$$

(18) გამოსახულების ჩასმით (15) ფორმულაში მივიღებთ

$$h_{\text{აღ}} = 1.1 \cdot \left(\frac{24}{T_{\text{საშ}}} \right)^2 \frac{1.1 \cdot Q_{\delta}^2}{\omega^2 \cdot c^2 \cdot R} \cdot l \quad (19)$$

ასეთ დანაკარგს ადგილი ექნება $T_{\text{საშ}}$ დროის განმავლობაში. რადგანაც (19) გამოსახულებაში შედის საშუალო დღე-ღამური ხარჯი, ხოლო შემდეგ გაანგარიშებებში ჩვენ მოგვიხდება საშუალო თვიური სიმძლავრეების გამოთვლა, საჭიროა h_{Σ} შევცვალოთ საშუალო დღე-ღამური ან, რაც იგივეა, საშუალო თვიური დანაკარგებით. ამისათვის h_{Σ} უნდა გავანაწილოთ მთელ დღე-ღამეზე, რისთვისაც ვადგენთ შემდეგ პროპორციას:

$$h_{\Sigma} \cdot T_{\text{საშ}} = 24 \cdot h_{\text{საშ}} \quad (20)$$

აქედან საშუალო თვიური ხარჯის შესაბამისი საშუალო დანაკარგების საანგარიშოდ ვპოულობთ

$$h_{\text{საშ}} = h_{\Sigma} \cdot \frac{T_{\text{საშ}}}{24} = \frac{24}{T_{\text{საშ}}} \cdot \frac{1.1 \cdot Q_{\delta}^2}{\omega^2 \cdot c^2 \cdot R} \cdot l \quad (20^1)$$

თუ (20) გამოსახულებაში $Q_{\text{უზრ}}$ ხარჯის ნაცვლად ჩავსვათ ინტეგრალური მრუდიდან აღებულ რომელიმე $Q_{\text{მთხ}}$ ხარჯს, საჭირო იქნება მასში შემავალი $T_{\text{საშ}}$ -ს განსაზღვრა ე.ი. საჭირო გახდება $T_{\text{საშ}}$ დროის ინტეგრალის მოყვანა $Q_{\text{მთხ}}$ ხარჯთან შესაბამისობაში. ამ დროის ხანგრძლივობის გამოსათვლელად შეგვიძლია ვიმსჯელოთ ასე: თუ წყალმცირობის პერიოდში $Q_{\text{უზრ}}$ ხარჯი გადის $T_{\text{საშ}}$ დროში, მაშინ უქმად წყლის გადაღვის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა $Q_{\text{მაქს}}^{\text{საშ}}$ ხარჯი გავატაროთ მთელი 24 სთ-ის განმავლობაში. წლის იმ პერიოდში, როცა მოხმარების ხარჯის მნიშვნელობა იცვლება $Q_{\text{უზრ}} < Q_{\text{მთხ}} < Q_{\text{მაქს}}^{\text{საშ}}$ ინტეგრალში, შეგვიძლია დავუშვათ, რომ $Q_{\text{მთხ}}$ ხარჯსა და დღე-ღამეში

სადგურის მუშაობის საშუალო ხანგრძლივობას შორის არსებობს წრფივი დამოკიდებულება

$$T_{\text{საშ}} = \frac{24 - T_{\text{საშ}}}{Q_{\text{მაქს}} - Q_{\text{უზრ}}} \cdot (Q_{\text{მთხ}} - Q_{\text{მაქს}}) + 24 \quad (21)$$

ამგვარად, საბოლოოდ, დანაკარგის საანგარიშოდ ვლტებულობთ შემდეგ დამოკიდებულებას:

$$h_{\text{საშ}} = \frac{24}{T_{\text{საშ}}} \cdot \frac{Q_{\text{მთხ}}^2}{\omega^2 \cdot C^2 \cdot R} \cdot l \quad (22)$$

ეს ტოლობა გვიჩვენებს, რომ ენერჯის დანაკარგი დღე-ღამური რეგულირების შემთხვევაში იზრდება, რადგანაც გარკვეულ პერიოდში ტურბინებში გასული ხარჯი აღემატება საშუალო დღე-ღამურ ხარჯს. ჩვენ, რომ ტურბინებში გასული ხარჯი მოხმარების ხარჯის ტოლად ჩაგვეთვალო, ე.ი. არ მიგველო მხედველობაში სადგურის სიმძლავრის გაზრდით გამოწვეული ხარჯის გაზრდის აუცილებლობა, (21) გამოსახულების თანახმად მივიღებთ, რომ $T_{\text{საშ}} = 24$ სთ-ის და (22) ფორმულა დაემთხვეოდა (5) ფორმულას. ამ უკანასკნელით დანაკარგის გამოთვლა, კი მოგვცემდა შემცირებულ მნიშვნელობებს. დერივაციული სადგურების შემთხვევაში. ასეთი გაანგარიშებით გამოწვეული შეცდომა საკმაოდ დიდი გამოდის, რის გამოც მიზანშეწონილია (22) ფორმულით ვისარგებლოთ.

ამგვარად, (6) ფორმულაში უნდა შევიტანოთ (22) ფორმულით მიღებული შედეგები და (7) გამოსახულების გამოყენებით თავიდან ავაგოთ სიმძლავრის ცვალებადობის გრაფიკი— $N(t)$. კარგი იქნება, თუ გავითვალისწინებთ ამ გრაფიკზე სადგურის მუშაობის საშუალო ხანგრძლივობას ყოველი თვისათვის. ამისათვის (21) ფორმულით მიღებული $T_{\text{საშ}}$ უნდა გადავამრავლოთ თვეში დღეების რაოდენობაზე; მივიღებთ რა ყველა თვისათვის სადგურის მუშაობის საათების საერთო რიცხვს, შეგვიძლია გავიგოთ საანგარიშო პერიოდისათვის სადგურის მუშაობისათვის საათების საშუალო რიცხვი და, მაშასადამე, წელიწადში სადგურის მუშაობის საათების საშუალო რიცხვ-საათიც:

$$n = \frac{36}{3} \cdot \sum_{i=1}^{i=36} T_{\text{საშ},i} \quad (23)$$

$N(t)$ -ს მიღებული (შესწორებული) გრაფიკის მეშვეობით ხელმეორედ ვპოულობთ ენერჯის გამომუშავებას საანგარიშო პერიოდისათვის:

$$\mathcal{E} = \sum_1^{36} N_i \cdot \Delta t \quad (23^1)$$

და საშუალო მრავალწლიურ გამომუშავებას(კვტ.სთ)

$$\mathcal{E}_{\text{საშ}} = \mathcal{E} / 3 \quad (24)$$

(23) გამოსახულებაში $\Delta t = 30 \cdot 24$ სთ. ჩვეულებრივ, სადგურის მუშაობის საათების საშუალო რიცხვს განსაზღვრავენ შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$n = \mathcal{E}_{\text{საშ}} / N_{\text{დავ}} \quad (25)$$

ამიტომ საჭიროა (25) დამოკიდებულებით განისაზღვროს სადგურის გამოყენების საათების საშუალო რიცხვი და იგი შევადაროთ (23) ფორმულით მიღებულ მნიშვნელობას. (23) და (25) ფორმულებით მიღებული მნიშვნელობები ძალიან არ უნდა განსხვავდებოდეს ერთმანეთისგან.

