

Банк заданий по специальной части вступительного испытания в магистратуру

Задание экзаменационного билета №6 (10 баллов)

Тема «Валовой энергетический потенциал. Гидроэнергетика»

Задание 6.1

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и известно: водоток перемерзает зимой на 2 месяца. Оцените валовую энергию и удельную энергоёмкость данного участка водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{\max} , м	Z_j^{\min} , м
1	100	20	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов перемерзания реки, и определить по ТКО (рис.1)	115	100
2	95	30		115	95

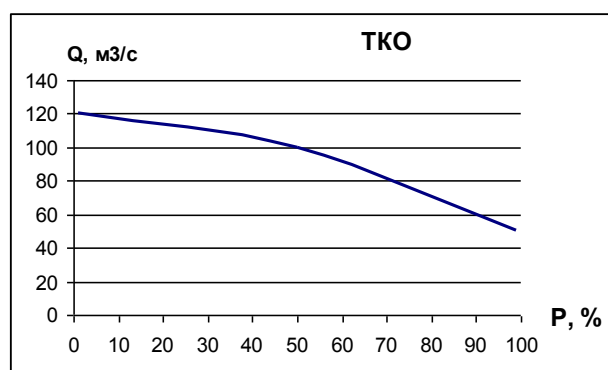


Рис.1

Задание 6.2

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице, и известны: удельная энергоёмкость данного участка – 300 кВт/км и валовая энергия – 21,96 млн.кВт.ч. Определите расходы среднегодового и маловодного года (приняв как 50% от расхода среднегодового года) на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{\max} , м	Z_j^{\min} , м
1	120	10	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов времени перемерзания реки.	120	100
2	100	20		120	100

Задание 6.3

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице. Оцените валовую энергию и удельную энергоёмкость данного участка водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{\max} , М	Z_j^{\min} , М
1	100	20	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года для условий маловодного года 20 м ³ /с и средневодного года 30 м ³ /с	100	100
2	95	24		100	95

Задание 6.4

Дан участок горного водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице. Оцените валовую энергию и удельную энергоёмкость данного участка водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{\max} , М	Z_j^{\min} , М
1	60	50	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года и определить по ТКО (рис.1)	70	60
2	10	60		60	30

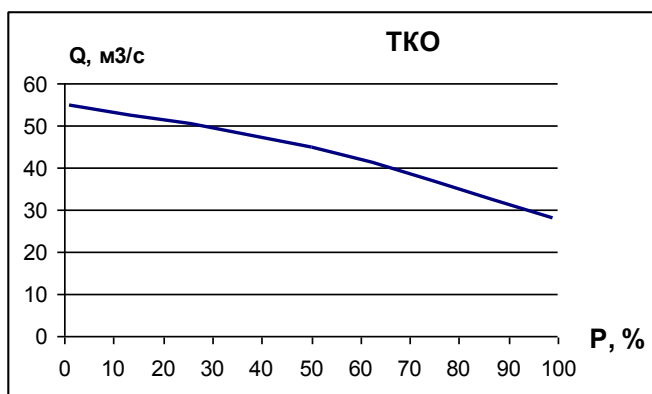


Рис.1

Задание 6.5

Дан участок горного водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и известно: расход воды между створами 1 и 2 меняется по линейному закону и на расстоянии 21 км от начала реки составляет 30 м³/с для условий маловодного года. Оцените валовую энергию и удельную энергоёмкость данного участка водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с
1	115	20	Расходы водотока от створа 1 к створу 2 не меняются по длине водотока и в течение года, для разных лет водности определяются по ТКО (рис.1)
2	15	22	

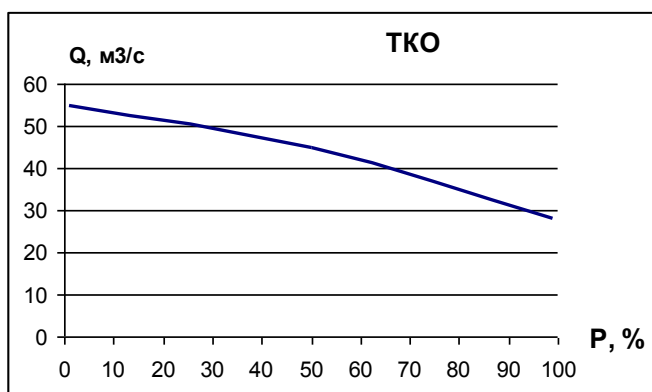


Рис.1

Задание 6.6

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице, и известны: удельная энергоёмкость данного участка – 200 кВт/км и валовая энергия – 7,2 млн.кВт. Определите расходы среднегодового и маловодного года (приняв как 60% от расхода среднегодового года) на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{\max} , м	Z_j^{\min} , м
1	150	15	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов времени перемерзания реки.	150	150
2	140	20		150	142

Задание 6.7

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице. Оцените валовую энергию и удельную энергоёмкость данного участка водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{\max} , м	Z_j^{\min} , м
1	110	20	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года для условий маловодного года 20 м ³ /с и среднегодового года 30 м ³ /с	110	110
2	105	24		110	105

Задание 6.8

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и известно: водоток перемерзает зимой на 3 месяца. Оцените валовую энергию и удельную энергоёмкость данного участка водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{\max} , м	Z_j^{\min} , м
1	115	20	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов перемерзания, и определить по ТКО (рис.1)	115	115
2	95	25		110	95

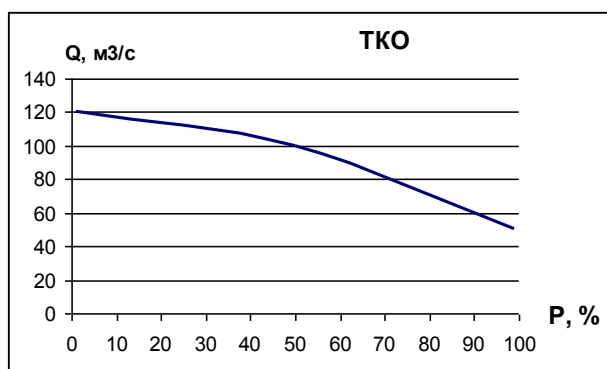


Рис.1

Задание 6.9

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и известно: водоток перемерзает зимой на 2 месяца. Оцените валовую энергию и удельную энергоёмкость данного участка водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{\max} , м	Z_j^{\min} , м
1	95	25	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов перемерзания реки, и определить по ТКО (рис.1)	110	95
2	90	35		110	90

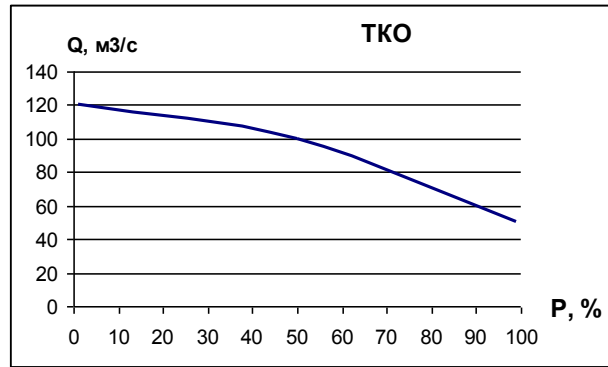


Рис.1

Задание 6.10

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице. Оцените валовую энергию и удельную энергоёмкость данного участка водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м³/с	Z_j^{\max} , м	Z_j^{\min} , м
1	110	14	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года для условий маловодного года 20 м³/с и средневодного года 30 м³/с	110	110
2	105	18		110	105

Пример выполнения задания 6.1

Решение

Напор $H_{\text{под}} = 100 - 95 = 5$ м;

при $P = 50\%$ расход водотока $Q = 100$ м³/с;

Мощность водотока $N_{\text{вал}} = 9,81 \cdot 5 \cdot 100 = 5000$ кВт;

Эвал = $5000 \cdot 7320 = 36,6$ ГВт.ч и удельная энергоёмкость данного участка водотока $i_N = N_{\text{вал}} / (L_2 - L_1) = 5000 / 10 = 500$ кВт/км.

7320ч – количество часов при расходе не равным нулю ($8760\text{ч} - 30\text{дн} \cdot 2\text{мес.} \cdot 24\text{ч}$).

Задание экзаменационного билета № 7 (10 баллов)

Тема «Технический энергетический потенциал. Гидроэнергетика»

Задание 7.1

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и известно: водоток перемерзает зимой на 2 месяца; $r_{\text{ЭК}} = 8$ км для всех типов малых ГЭС, которые могут быть построены на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м³/с	Z_j^{\max} , м	Z_j^{\min} , м
1	100	20	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов перемерзания реки, и определить по ТКО (рис.1)	115	100
2	95	30		115	95

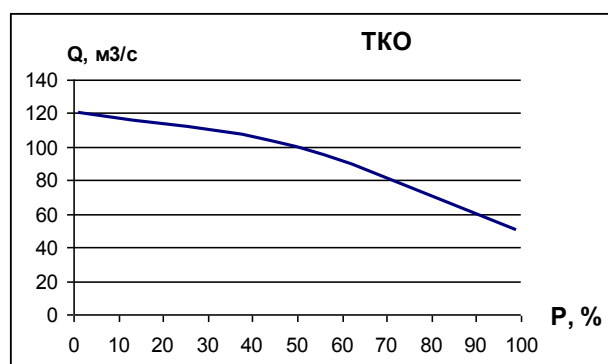


Рис.1

- а) Рассчитайте значение технико-экологического потенциала участка водотока при условии его использования русловой малой ГЭС с заданными техническими параметрами ($K_N=8,2$ и рабочий диапазон напоров от 3 до 10 м). Представьте графически размещение МГЭС на данном участке водотока и оцените ее параметры: мощность, напор и расход.
- б) Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 2000 кВт от МГЭС (параметры которой определены в п.а), если известно что потребитель находится на самом берегу водотока в 6 км по длине реки от створа 1.
- в) Оцените гарантированную мощность МГЭС (параметры которой определены в п.а).

Задание 7.2

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице, и известны: удельная энергоемкость данного участка – 300 кВт/км и валовая энергия – 21,96 млн.кВт.ч, а также $r_{ЭК}=5$ км для всех типов малых ГЭС, которые могут быть построены на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{max} , м	Z_j^{min} , м
1	120	10	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов времени перемерзания реки.	120	100
2	100	20		120	100

- а) Рассчитайте значение технико-экологического потенциала участка водотока при условии его использования русловыми малыми ГЭС с заданными техническими параметрами ($K_N=8,2$ и рабочий диапазон напоров от 4 до 10 м). Представьте графически размещение МГЭС на данном участке водотока и оцените их параметры: мощность, напор и расход.
- б) Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 1000 кВт от МГЭС (параметры которых определены в п.а), если известно что потребитель находится на расстоянии 1 км от берега, находящегося на расстоянии 15 км по длине реки.
- в) Оцените гарантированную мощность МГЭС (параметры которых определены в п.а).

Задание 7.3

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и $r_{ЭК}=2$ км для всех типов малых ГЭС, которые могут быть построены на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{max} , м	Z_j^{min} , м
1	100	20	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года для условий маловодного года 20 м ³ /с и средневодного года 30 м ³ /с	100	100
2	95	24		100	95

- а) Проверьте возможность установки всех возможных вариантов погружных свободно-поточных гидроагрегатов (параметры погружных свободнопоточных гидроагрегатов приведены ниже в таблице), если известно, что на этом участке: $V_{расч} = 4$ м/с и минимальная глубина по фарватеру $h_{min} = 1,8$ м; и оцените значение технико-экологического потенциала участка водотока при условии его использования гирляндой выбранных погружных свободно-поточных гидроагрегатов. Окончательно выберите вариант с наибольшим значением технико-экологического потенциала

Параметры погружных свободнопоточных агрегатов

Вариант	$h_{\text{доп}}$, м	N_a , кВт при $V_{\text{раб}} = 3,5$ м/с	N_a , кВт при $V_{\text{раб}} = 2,5$ м/с	L_{mi} п, м
1	1,5	5	2	20
2	2,0	10	4	40

б) Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 200 кВт от гирляндной МГЭС, если известно что потребитель находится на расстоянии 1,5 км от берега, находящегося на расстоянии 20 км по длине реки.

Задание 7.4

Дан участок горного водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и $r_{\text{ЭК}} = 3$ км для всех типов малых ГЭС, которые могут быть построены на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с	Z_j^{max} , м	Z_j^{min} , м
1	60	50	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года и определить по ТКО (рис.1)	70	60
2	10	60		60	30

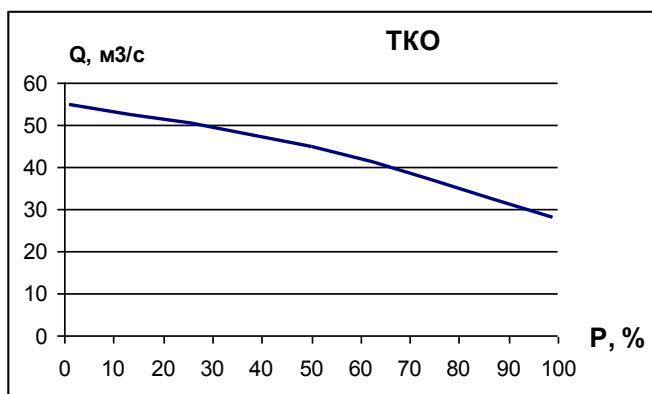


Рис.1

а) Рассчитайте технико-экологический потенциал участка водотока при условии его полного использования плотинной малой ГЭС и с заданным $K_N = 8,5$. Представьте графически размещение МГЭС на данном участке водотока и оцените ее параметры: мощность, напор и расход.

б) Какое количество агрегатов должно быть установлено на данной МГЭС, чтобы она относилась к категории МГЭС в России (ответ обоснуйте)

в) Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 7 МВт от МГЭС (параметры которой определены в п.а), если известно что потребитель находится на самом берегу водотока в 55 км по длине водотока от его начала.

Задание 7.5

Дан участок горного водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и известно: расход воды между створами 1 и 2 меняется по линейному закону и на расстоянии 21 км от начала реки составляет 30 м³/с для условий маловодного года, $r_{\text{ЭК}} = 4$ км для всех типов малых ГЭС, которые могут быть построены на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м ³ /с
1	115	20	Расходы водотока от створа 1 к створу 2 не меняются по длине водотока и в течение года, для разных лет водности определяются по ТКО (рис.1)
2	15	22	

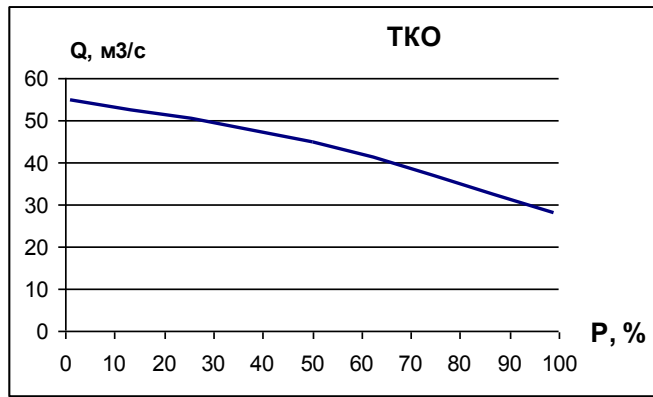


Рис.1

- Рассчитайте технический потенциал участка водотока при условии его полного использования плотинной малой ГЭС с отметкой НПУ=115 м и с заданным $K_N=8,5$. Представьте графически размещение МГЭС на данном участке водотока и оцените ее параметры: мощность, напор и расход.
- Какое количество агрегатов должно быть установлено на данной МГЭС, чтобы она относилась к категории МГЭС в России (ответ обоснуйте)
- Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 15 МВт от МГЭС (параметры которой определены в п.а), если известно что потребитель находится на самом берегу водотока в 6 км по длине водотока от створа 1.

Задание 7.6

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице, и известны: удельная энергоёмкость данного участка – 200 кВт/км и валовая энергия – 7,2 млн.кВт.ч, а также $r_{ЭК}=2$ км для всех типов малых ГЭС, которые могут быть построены на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м³/с	Z_j^{max} , м	Z_j^{min} , м
1	150	15	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов времени перемерзания реки.	150	150
2	140	20		150	142

- Рассчитайте значение технико-экологического потенциала участка водотока при условии его использования русловыми малыми ГЭС с заданными техническими параметрами ($K_N=8,2$ и рабочий диапазон напоров от 4 до 10 м). Представьте графически размещение МГЭС на данном участке водотока и оцените их (если у Вас каскадное размещение) параметры: мощность, напор и расход.
- Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 100 кВт от МГЭС (параметры которых определены в п.а), если известно что потребитель находится на расстоянии 1 км от берега, находящегося на расстоянии 19 км по длине реки.
- Оцените гарантированную мощность МГЭС (параметры которых определены в п.а).

Задание 7.7

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и $r_{ЭК}=2,1$ км для всех типов малых ГЭС, которые могут быть построены на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м³/с	Z_j^{max} , м	Z_j^{min} , м
1	110	20	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года для условий маловодного года 20 м³/с и средневодного года 30 м³/с	110	110
2	105	24		110	105

- Проверьте возможность установки всех возможных вариантов погружных свободно-поточных гидроагрегатов (параметры погружных свободнопоточных гидроагрегатов приведены ниже в таблице), если известно, что на этом участке: $V_{расч} = 3$ м/с и

минимальная глубина по фарватеру $h_{\min} = 2,2$ м; и оцените значение технико-экологического потенциала участка водотока при условии его использования гирляндой выбранных погружных свободно-поточных гидроагрегатов. Окончательно выберите вариант с наибольшим значением технико-экологического потенциала.

Параметры погружных свободнопоточных агрегатов

Вариант	$h_{\text{доп}},$ м	Na, кВт при $V_{\text{раб}} = 3,5$ м/с	Na, кВт при $V_{\text{раб}} = 2,5$ м/с	$L_{\text{min}},$ м
1	2,0	5	2	20
2	2,5	10	4	40

б) Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 500 кВт от МГЭС (которые наиболее энергетически эффективны на данном водотоке и определены в п.а), если известно что потребитель находится на расстоянии 2 км от берега (расстояние перпендикулярно берегу), находящегося на расстоянии 21 км по длине реки.

Задание 7.8

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и известно: водоток перемерзает зимой на 3 месяца; $r_{\text{ЭК}} = 4$ км для всех типов малых ГЭС, которые могут быть построены на данном участке водотока.

j створ реки	$\nabla_j,$ м	$L_j,$ км	$Q_j,$ м ³ /с	$Z_j^{\text{max}},$ м	$Z_j^{\text{min}},$ м
1	115	20	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов перемерзания, и определить по ТКО (рис.1)	115	115
2	95	25		110	95

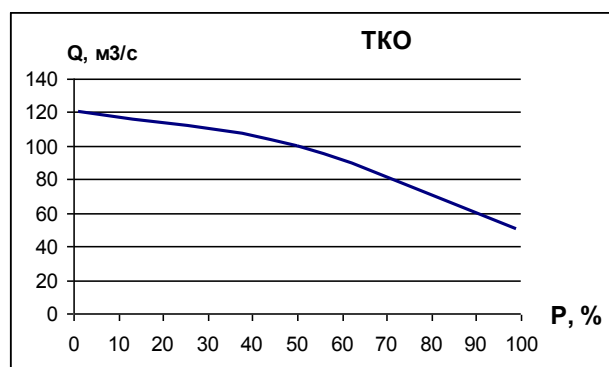


Рис.1

а) Рассчитайте значение технико-экологического потенциала участка водотока при условии его использования русловыми малыми ГЭС с заданными техническими параметрами ($K_N = 8,2$ и рабочий диапазон напоров от 4 до 10 м). Представьте графически размещение МГЭС на данном участке водотока и оцените их (если у Вас каскадное размещение) параметры: мощность, напор и расход.

б) Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 4000 кВт от МГЭС (параметры которых определены в п.а), если известно что потребитель находится на самом берегу водотока по длине реки рядом со створом 1.

в) Определите количество рабочих часов МГЭС за год

Задание 7.9

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице и известно: водоток перемерзает зимой на 2 месяца.

Оцените валовую энергию и удельную энергоёмкость данного участка водотока.

j створ реки	$\nabla_j,$ м	$L_j,$ км	$Q_j,$ м ³ /с	$Z_j^{\text{max}},$ м	$Z_j^{\text{min}},$ м
1	95	25	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов перемерзания реки, и определить по ТКО (рис.1)	110	95
2	90	35		110	90

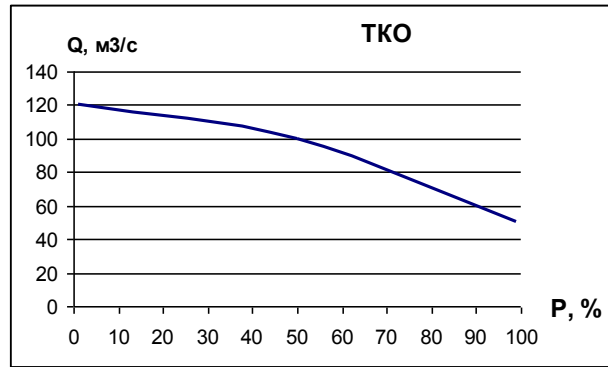


Рис.1

- Рассчитайте значение технико-экологического потенциала участка водотока при условии его использования русловой малой ГЭС с заданными техническими параметрами ($K_N=8,2$ и рабочий диапазон напоров от 3 до 9 м). Представьте графически размещение МГЭС на данном участке водотока и оцените ее параметры: мощность, напор и расход.
- Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 3000 кВт от МГЭС (параметры которой определены в п.а), если известно что потребитель находится на самом берегу водотока в 5 км по длине реки от створа 1.
- Оцените гарантированную мощность МГЭС (параметры которой определены в п.а).

Задание 7.10

Дан участок открытого водотока между створами 1 и 2, информация по которым приведена ниже в таблице, и известны: удельная энергоёмкость данного участка – 300 кВт/км и валовая энергия – 30млн.кВт.ч, а также $r_{гк}=8$ км для всех типов малых ГЭС, которые могут быть построены на данном участке водотока.

j створ реки	∇_j , м	L_j , км	Q_j , м³/с	Z_j^{\max} , м	Z_j^{\min} , м
1	110	20	Расходы водотока в створах принять одинаковыми и постоянными в течение года за исключением периодов времени перемерзания реки.	110	90
2	90	30		110	90

- Рассчитайте значение технико-экологического потенциала участка водотока при условии его использования русловыми малыми ГЭС с заданными техническими параметрами ($K_N=8,2$ и рабочий диапазон напоров от 2 до 8 м). Представьте графически размещение МГЭС на данном участке водотока и оцените их параметры: мощность, напор и расход.
- Проверьте целесообразность энергоснабжения потребителя мощностью 2500 кВт от МГЭС (параметры которых определены в п.а), если известно что потребитель находится на расстоянии 1 км от берега, находящегося на расстоянии 15 км по длине реки.
- Оцените гарантированную мощность МГЭС (параметры которых определены в п.а).

Пример выполнения задания 7.1

Решение

- $H_{гэс}=100-95=5$ м; при $P=95\%$ $Q=50$ м³/с $N_{тех}=8,2*5*50=22000$ кВт; $E_{вал}=2200*7320$ кВт.ч Возможна установка плотинных ГЭС на данном водотоке, т.к. попадаем в рабочий диапазон напоров.
- Можно обеспечить потребителя, т.к. $L_{факт} = 4$ км $< r_{гк}=8$ км. $R_{пот}=2000$ кВт $< N_{мгэс}=22000$ кВт, только зимой нельзя будет обеспечить из-за перемерзания водотока.
- $T_{простоя}=1440$ ч (2мес.), ГЭС зимой не работает, поэтому $N_{гар}=0$ МВт

Задание экзаменационного билета №8 (10 баллов)

Тема «Валовой энергетический потенциал. Солнечная энергетика»

Задание 8.1

Рассчитать в точке $A(\varphi_A^0 = 30^0 \text{ с.ш.}, \psi_A^0 = 30^0 \text{ в.д.})$ для 17 января мощность потока прямой СР в полдень - $R_{np}^{\max}(\bar{n}_i)$ на горизонтальную площадку.

Задание 8.2

Для характерного дня в январе при коэффициенте прозрачности атмосферы $K_0=0,32$ рассчитать диффузную $\mathcal{E}_d^e(\bar{n}_i)$ и прямую $\mathcal{E}_{np}^e(\bar{n}_i)$ составляющие суточного прихода СР методом Клейна в точке $A(\varphi_A^0 = 30^0 \text{ с.ш.}, \psi_A^0 = 30^0 \text{ в.д.})$ на горизонтальную площадку.

Задание 8.3

Рассчитать в точке $A(\varphi_A^0 = 35^0 \text{ с.ш.}, \psi_A^0 = 60^0 \text{ в.д.})$ для 16 февраля приход прямой СР за сутки - $\mathcal{E}_{np}^e(\bar{n}_i) \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2 \cdot \text{сутки}} \right)$, если угол падения солнца в полдень - $\theta^0(\bar{n}_i) = 48^0$ на горизонтальную площадку.

Задание 8.4

Определить суточный приход суммарной солнечной радиации и коэффициент прозрачности атмосферы в точке $A(\varphi_A^0 = 35^0 \text{ с.ш.}, \psi_A^0 = 60^0 \text{ в.д.})$ для характерного дня в июне, если известна на горизонтальную площадку прямая составляющая суточного прихода СР $\mathcal{E}_{np}^e(\bar{n}_i) = 3,03 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2 \cdot \text{сутки}}$ и $K_d = 0,47$.

Задание 8.5

Для точки с координатами точка А ($\varphi^0 = 56^0 \text{ с.ш.}$ и $\psi^0 = 38^0 \text{ в.д.}$) определите на 15 января в 16⁰⁰: склонение Солнца δ ; продолжительность солнечного дня t_{cc} ; часовой угол солнца (приняв $t_n = 12 \text{ ч}$).

Задание 8.6

Определите диффузную $\mathcal{E}_d^e(\bar{n}_i)$ и прямую $\mathcal{E}_{np}^e(\bar{n}_i)$ составляющие суточного прихода СР на горизонтальную площадку методом Клейна в точке А ($\varphi^0 = 56^0 \text{ с.ш.}$ и $\psi^0 = 38^0 \text{ в.д.}$) для характерного дня в феврале, если суточный приход суммарной СР $\mathcal{E}_\Sigma^e = 1,27 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2 \cdot \text{сутки}}$.

Задание 8.7

Рассчитать в точке $A(\varphi_A^0 = 30^0 \text{ с.ш.}, \psi_A^0 = 30^0 \text{ в.д.})$ для 1 января угол падения солнца в полдень - $\theta^0(\bar{n}_i)$ на горизонтальную площадку.

Задание 8.8

Для характерного дня в июне при коэффициенте прозрачности атмосферы $K_0=0,54$ рассчитать диффузную $\mathcal{E}_d^e(\bar{n}_i)$ и прямую $\mathcal{E}_{np}^e(\bar{n}_i)$ составляющие СР на горизонтальную площадку методом Клейна в точке $A(\varphi_A^0 = 30^0 \text{ с.ш.}, \psi_A^0 = 30^0 \text{ в.д.})$.

Задание 8.9

ψ_{\min}^0	7,5	22,5	37,5	52,5	67,5	82,5	97,5	112,5	127,5	142,5
$\bar{\psi}^0$	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
ψ_{\max}^0	22,49	37,49	52,49	67,49	82,49	97,49	112,49	127,49	142,49	157,49

Решение удобно представить в виде таблицы:

n_i	δ_i	$\sin\delta_i$	$\cos\delta_i$	ω_i	$\cos\omega_i$	$\frac{\sin\varphi^0 \cdot \cos\varphi^0}{\sin\delta_i \cdot \cos\omega_i \cdot \cos\delta_i}$	$\cos\theta$	θ	R_h^{\max}
о.е.	град.	о.е.	о.е.	град.	о.е.	о.е.	о.е.	град	Вт/м ²
17,00	-20,92	-0,36	0,93	0,00	1,00	-0,18	0,63	50,92	535,88

Основные расчетные соотношения:

- Склонение солнца - $\delta^0(\bar{n}_i)$ по формуле:

$$\delta^0(\bar{n}_i) = \delta_0 \cdot \sin \left[\frac{360^0}{365} \cdot (284 + \bar{n}_i) \right], \quad (1)$$

где 360^0 – значение полного оборота земли вокруг солнца за год; 365 – число дней в году, а 284 – число суток от 21 марта до 31 декабря; $\delta_0 = 23,45^0$ – угол наклона земной оси.

- Часовой угол солнца - $\omega^0(\bar{n}_i)$ характеризует собой угол, на который поворачивается Земля с момента солнечного полдня в рассматриваемой точке (t_n) и определяется по формуле:

$$\omega(\bar{n}_i) = 15 \cdot (t - t_n) + (\psi_A^0 - \bar{\psi}^0). \quad (2)$$

где $15^0/ч$ – угол, на который за 1 час поворачивается Земля вокруг своей оси, t – текущее время, ч, t_n – местное время, соответствующее астрономическому полудню (либо 13 часов, либо 14 часов), ч, ψ_A^0 – координата долготы данной точки, град, $\bar{\psi}^0$ – координата долготы середины часового пояса, в котором расположена данная точка, град. определяется по таблице 5.

В нашем случае принимаем, что $t \equiv t_n$ и тогда соответственно:

$$\omega^0(\bar{n}_i) = \psi_A^0 - \bar{\psi}^0. \quad (3)$$

- Угол падения солнца - $\theta^0 = \theta^0(\bar{n}_i)$, равный углу между прямым потоком СИ в точку и перпендикуляром к горизонтальной приемной площадке, определяется по формуле:

$$\cos \theta^0(\bar{n}_i) = \sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0(\bar{n}_i) + \cos \varphi^0 \cdot \cos \omega^0(\bar{n}_i) \cdot \cos \delta^0(\bar{n}_i). \quad (4)$$

- Максимальное значение мощности потока СР в полдень - $R_h^{\max}(\bar{n}_i)$ по формуле:

$$R_h^{\max}(\bar{n}_i) = R_{\text{сод}}^{\max}(\varphi^0) \cdot \cos \theta^0(\bar{n}_i). \quad (5)$$

- Продолжительность солнечного сияния за сутки - $t_{cc}(\bar{n}_i)$ в часах;

$$t_{cc}(\bar{n}_i) = \frac{2}{15} \cdot \arccos \left[-\text{tg} \varphi^0 \cdot \text{tg} \delta^0(\bar{n}_i) \right]. \quad (6)$$

- приход прямой СР за сутки - $\mathcal{E}_h^{np}(\bar{n}_i) \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2 \cdot \text{сутки}} \right)$.

$$\mathcal{E}_h(\bar{n}_i) = \frac{2 \cdot t_{cc}(\bar{n}_i)}{\pi} \cdot R_h^{\max}(\bar{n}_i) \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2 \cdot \text{сутки}} \right]. \quad (7)$$

Задание экзаменационного билета №9 (10 баллов)

Тема «Технический энергетический потенциал. Солнечная энергетика»

Задание 9.1

Для солнечного модуля (СМ) со следующими параметрами: 36 квадратичных солнечных элементов (СЭ) из монокристаллического кремния расположены на прямоугольном основании с размерами (400 мм x 1000 мм), соединенных последовательно по 12 элементов в 3 цепочки параллельно, и коэффициентом заполнения $K_{зан}=0,98$. Элементы закрыты специальным стеклом с коэффициентом пропускания 92%. Задана в табличном виде вольт-амперная характеристика солнечного модуля для стандартных условий:

Вольт-амперная характеристика СМ для стандартных условий

I, А	0	1	1,5	2	2,5	3	3,2	3,2
U, В	22	21	20,5	20	19	17	15	0

1. Определите площадь всего СМ и одного солнечного элемента.
2. Определите для стандартных условий:
 - ток КЗ и напряжение ХХ для всего СМ и одного СЭ;
 - электрические параметры СМ в точке максимальной мощности: мощность, ток, напряжение, КПД и потери мощности;

Задание 9.2

Для солнечного модуля (СМ) задана в табличном виде вольт-амперная характеристика солнечного модуля для стандартных условий и температурные коэффициенты, известна подведенная мощность СИ – 200 Вт.

Вольт-амперная характеристика СМ для стандартных условий

I, А	0	1	1,5	2	2,5	3	3,2	3,2
U, В	22	21	20	19	17	16,5	14	0

Температурные коэффициенты СМ

$I_{КЗ}$	$U_{ХХ}$	$N_{СЭ}^{\max}$
0,0005 А/°С	-0,003 В/°С	-0,0027 Вт/°С

1. Определите для стандартных условий электрические параметры СМ в точке максимальной мощности: мощность, ток, напряжение, КПД и потери мощности
2. Определите ток КЗ, напряжение ХХ, максимальную мощность СМ при температуре 125⁰ С и стандартной интенсивности СИ.

Задание 9.3

Задана в табличном виде рабочая характеристика СМ для стандартной температуры и интенсивности СИ 500 Вт/м² и известно $U_{ХХ}=22$ В. СМ состоит из 39 круглых солнечных элементов (СЭ), соединенных последовательно по 13 элементов в 3

цепочки параллельно, диаметр которых =10 см, коэффициент заполнения $K_{зан}=0,85$. Элементы закрыты специальным стеклом с коэффициентом пропускания 90%.

Рабочая характеристика СМ при интенсивности СИ 500 Вт/м²

I, А	0	0,4	0,9	1,3	1,6	1,9	2,1	2,2	2,2
КПД, %	0	6	12	16	18	20	21	20	0

1. Определите площадь всего СМ и одного солнечного элемента.
2. Определите при стандартной температуре и интенсивности СИ 500 Вт/м²:
 - ток КЗ и напряжение ХХ для всего СМ и одного СЭ;
 - электрические параметры СМ в точке максимальной мощности: мощность, ток, напряжение, КПД и потери мощности;

Задание 9.4

Для солнечного модуля (СМ) со следующими параметрами: 36 квадратичных солнечных элементов (СЭ) из монокристаллического кремния расположены на прямоугольном основании с размерами (500 мм x 1000 мм), соединенных последовательно по 12 элементов в 3 цепочки параллельно, и коэффициентом заполнения $K_{зан}=0,99$. Элементы закрыты специальным стеклом с коэффициентом пропускания 95%. Задано $U_{хх}=22$ В и характеристика потерь мощности солнечного модуля для стандартных условий в табличном виде:

Вольт-амперная характеристика СМ для стандартных условий

I, А	0	1	1,5	2	2,5	3	3,2	3,2
ΔN , Вт	470,25	449,25	439,50	430,25	422,75	419,25	422,25	470,25

1. Определите площадь всего СМ и одного солнечного элемента.
2. Рассчитайте ВАХ СМ для стандартных условий и определите для стандартных условий:
 - ток КЗ и напряжение ХХ для всего СМ и одного СЭ;
 - электрические параметры СМ в точке максимальной мощности: мощность, ток, напряжение, КПД и потери мощности;

Задание 9.5

Задана в табличном виде мощностная характеристика СМ для стандартной температуры и интенсивности СИ 800 Вт/м² и известно $U_{хх}=22$ В. СМ состоит из 39 круглых солнечных элементов (СЭ), соединенных последовательно по 13 элементов в 3 цепочки параллельно, диаметр которых =10 см, коэффициент заполнения $K_{зан}=0,85$. Элементы закрыты специальным стеклом с коэффициентом пропускания 90%.

Рабочая характеристика СМ при интенсивности СИ 800 Вт/м²

I, А	0	0,4	0,9	1,3	1,6	1,9	2,1	2,2	2,2
N, Вт	0,00	8,2	16,5	22,04	24,8	27,5	28,9	27,5	0

1. Определите площадь всего СМ и одного солнечного элемента.
 2. Определите при стандартной температуре и интенсивности СИ 800 Вт/м²:
 - ток КЗ и напряжение ХХ для всего СМ и одного СЭ;
- электрические параметры СМ в точке максимальной мощности: ток, напряжение, КПД и потери мощности;

Задание 9.6

Для солнечного модуля (СМ) со следующими параметрами: 36 квадратичных солнечных элементов (СЭ) из монокристаллического кремния расположены на прямоугольном основании с размерами (400 мм x 1000 мм), соединенных последовательно

по 12 элементов в 3 цепочки параллельно, и коэффициентом заполнения $K_{зан}=0,98$. Элементы закрыты специальным стеклом с коэффициентом пропускания 92%. Задана в табличном виде вольт-амперная характеристика солнечного модуля для стандартных условий:

Вольт-амперная характеристика СМ для стандартных условий

I, А	0	1	1,5	2	2,5	3	3,2	3,2
U, В	22	21	20,5	20	19	17	15	0

1. Определите площадь всего СМ и одного солнечного элемента.
2. Определите при стандартной температуре и интенсивности СИ 500 Вт/м² максимальную мощность СМ и максимальный КПД.

Задание 9.7

Для солнечного модуля (СМ) задана в табличном виде вольт-амперная характеристика солнечного модуля для стандартных условий и температурные коэффициенты, известна подведенная мощность СИ – 200 Вт.

Вольт-амперная характеристика СМ для стандартных условий

I, А	0	1	1,5	2	2,5	3	3,2	3,2
U, В	22	21	20	19	17	16,5	14	0

Температурные коэффициенты СМ

$I_{кз}$	$U_{хх}$	$N_{СЭ}^{max}$
0,0005 А/°С	-0,003 В/°С	-0,0027 Вт/°С

1. Определите для стандартных условий электрические параметры СМ в точке максимальной мощности: мощность, ток, напряжение, КПД и потери мощности
2. Определите при температуре 125⁰ С и стандартной интенсивности СИ электрические параметры СМ в точке максимальной мощности: мощность, ток, напряжение, КПД и потери мощности

Задание 9.8

Задана в табличном виде рабочая характеристика СМ для стандартной температуры и интенсивности СИ 500 Вт/м² и известно $U_{хх}=22$ В. СМ состоит из 39 круглых солнечных элементов (СЭ), соединенных последовательно по 13 элементов в 3 цепочки параллельно, диаметр которых =10 см, коэффициент заполнения $K_{зан}=0,85$. Элементы закрыты специальным стеклом с коэффициентом пропускания 90%.

Рабочая характеристика СМ при интенсивности СИ 500 Вт/м²

I, А	0	0,4	0,9	1,3	1,6	1,9	2,1	2,2	2,2
КПД, %	0	6	12	16	18	20	21	20	0

1. Определите площадь всего СМ и одного солнечного элемента.
2. Рассчитайте ВАХ СМ и определите максимальную мощность СМ и максимальный КПД при стандартной температуре и стандартной интенсивности СИ.

Задание 9.9

Для солнечного модуля (СМ) со следующими параметрами: 40 квадратных солнечных элементов (СЭ) из монокристаллического кремния расположены на прямоугольном основании с размерами (400 мм x 1000 мм), соединенных последовательно

по 10 элементов в 4 цепочки параллельно, и коэффициентом заполнения $K_{зан}=0,98$. Элементы закрыты специальным стеклом с коэффициентом пропускания 90%. Задана в табличном виде вольт-амперная характеристика солнечного модуля для стандартных условий:

Вольт-амперная характеристика СМ для стандартных условий

I, А	0	1	1,5	2	2,5	3	3,2	3,2
U, В	22	21	20,5	20	19	17	15	0

1. Определите площадь всего СМ и одного солнечного элемента.
2. Определите при стандартной температуре и интенсивности СИ 700 Вт/м² максимальную мощность СМ и максимальный КПД.

Задание 9.10

Для солнечного модуля (СМ) со следующими параметрами: 48 круглых солнечных элементов (СЭ) из монокристаллического кремния расположены на прямоугольном основании с размерами (500 мм x 1500 мм), соединенных последовательно по 12 элементов в 4 цепочки параллельно, и коэффициентом заполнения $K_{зан}=0,9$. Элементы закрыты специальным стеклом с коэффициентом пропускания 90%. Задана в табличном виде вольт-амперная характеристика солнечного модуля для стандартных условий:

Вольт-амперная характеристика СМ для стандартных условий

I, А	0	1	1,5	2	2,5	3	3,2	3,2
U, В	22	21	20,5	20	19	17	15	0

1. Определите площадь всего СМ и одного солнечного элемента.
2. Определите при стандартной температуре и интенсивности СИ 400 Вт/м² максимальную мощность СМ и максимальный КПД.

Пример выполнения задания 9.1

Площадь солнечных элементов = $0,400 \cdot 1 \cdot 0,98 = 0,392 \text{ м}^2$

$N_{под} = 1000 \cdot 0,392 \cdot 0,92 = 360 \text{ Вт} = \text{const.}$

I, А	0	1	1,5	2	2,5	3	3,2	3,2
U, В	22	21	20,5	20	19	17	15	0
N, Вт	0	21	30,75	40	47,5	51	48	0
ΔN , Вт	306,00	285,00	275,25	266,00	258,50	255,00	258,00	306,00
КПД, %	0,00	0,07	0,10	0,13	0,16	0,17	0,16	0,00

площадь одного элемента – 108 см²

для СМ: ток КЗ=3,2 А и напряжение холостого хода=22 В;

для одного СЭ: ток КЗ=3,2 /3=1,06 А и напряжение холостого хода 22/12=1,8 В;

Пиковая мощность при 500 Вт/м²=51/2=25,5 Вт

$$FF = \frac{U_{MPP} \times I_{MPP}}{U_{xx} \times I_{кз}} = 0,72$$

Задание экзаменационного билета №10 (10 баллов)

Тема «Валовой энергетический потенциал. Ветровая энергетика»

Задание 10.1

Определите валовой энергетический потенциал ветроэнергетики по заданной многолетней повторяемости скорости ветра:

$V_{гр}, м/с$	$t(V),\%$
1	20
3	40
5	24
8	10
15	1

Задание 10.2

Определите среднемноголетнюю удельную мощность ветрового потока на высоте 50 м, если известны среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м и задан показатель степени вертикального профиля ветра $m=0,2$

Год	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Среднегодовая скорость, м/с	4,3	4,2	4,4	4,4	4,8	4,3	4,6	4,3	4,5	4,2	4,9

Задание 10.3

Определите среднесуточную скорость ветра, удельную суточную энергию ветрового потока и коэффициент вариации по часовым данным:

Время, ч	0-3	4-7	8-11	12-15	16-19	20-23
Скорость, м/с	8	6	4	0	2	3

Задание 10.4

Определите на высоте 80 м среднемноголетнюю удельную мощность ветрового потока, если известна многолетняя повторяемость скорости ветра $t(V)$ по диапазонам на высоте 10 м и показатель степени $m=0,16$.

градации скорости, м/с	$t(V),\%$
0-3	20
3-5	40
5-7	25
7-9	10
9-19	5

Задание 10.5

Определите валовой энергетический потенциал ветроэнергетики по заданной многолетней повторяемости скорости ветра:

$V_{гр}, м/с$	$t(V),\%$
1	30
3	40
6	20

10	9
20	1

Задание 10.6

Определите среднемноголетнюю удельную мощность ветрового потока на высоте 50 м для **характерного года** при $m=0,14$, если известны среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м и полнота ряда:

Год	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Среднегодовая скорость, м/с	6,5	6,4	6,5	6,2	6,8	6,6	6,4	7	6,4	6,8	7
Полнота ряда, %	96	90	85	82	89	90	88	99	96	85	99

Задание 10.7

Определите валовой энергетический потенциал ветроэнергетики на высоте 50м, если известны: среднемноголетняя скорость ветра на высоте 100 м – 6 м/с и многолетняя фактическая повторяемость скорости ветра на высоте 10 м:

$V_{гр}, м/с$	$t(V), \%$
1	30
3	40
6	15
10	10
15	5

Задание 10.8

Задан показатель степени вертикального профиля ветра $m=0,16$; многолетняя повторяемость скорости ветра на высоте 10 м:

$V_{гр}, м/с$	$t(V), \%$
1	20
3	40
5	24
8	10
15	1

Определите валовой энергетический потенциал ветроэнергетики на высоте 100 м.

Задание 10.9

Определите валовой энергетический потенциал ветроэнергетики на высотах 10 м и 100 м (параметр вертикального профиля $m=0,24$) по заданной многолетней повторяемости скорости ветра для высоты 10 м:

$V_{гр}, м/с$	$t(V), \%$
0,5	30

2	40
6	20
10	9
20	1

Задание 10.10

Определите среднегодовую удельную мощность ветрового потока на высоте 100 м, если известны среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м и задан показатель степени вертикального профиля ветра $m=0,15$

Год	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Среднегодовая скорость, м/с	4,3	4,2	4,4	4,4	4,8	4,3	4,6	4,3	4,5	4,2	4,9

Пример выполнения задания 10.1

Решение

Vгр, м/с	t(V),%	Эуд,кВтч/м2
1	20	1.07
3	40	57.99
5	24	161.10
8	10	274.94
15	1	181.23

Суммарный Эуд, кВтч/м2	676.34
Средняя мощность ветрового потока Нуд, кВт/м2	0.08

Определения ветровых и энергетических параметров на базе эмпирических кривых повторяемостей скоростей ветра:

– средняя скорость ветра (математическое ожидание), м/с

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^{n_{град}} \bar{V}_i \cdot t_i(\Delta V_i), \quad (1)$$

где \bar{V}_i , м/с – средняя скорость i -ой градации (интервала); $t_i(\Delta V_i)$, ед. – повторяемость скоростей ветра ΔV_i диапазона; $n_{град}$, ед. – количество градаций (интервалов).

– удельная энергия ветрового потока, Вт·ч/м²: $\mathcal{E}_{уд.} = \frac{T}{2} \cdot \rho \sum_{i=1}^{n_{град}} \bar{V}_i^3 \cdot t_i(\Delta V_i), \quad (2)$

где $\rho=1.226$, кг/м³ – плотность воздуха; T , ч – период наблюдения (для года 8760ч).

– удельная мощность ветрового потока, Вт/м²: $N_{уд.} = \mathcal{E}_{уд.}/T \quad (3)$

Задание экзаменационного билета №11 (10 баллов)

Тема «Технический энергетический потенциал. Ветровая энергетика»

Задание 11.1

В рассматриваемой географической точке на высоте флюгера 10 м задана повторяемость скорости ветра $V_{по}$ по диапазонам и возможные варианты ВЭУ

V, м/с	t(V), %
0-2,5	30
3,5 – 6,5	20
7,5 – 11,5	30
12,5 – 16,5	10
17,5 – 23,5	5
24,5 - 32	5

Параметры	ВЭУ
Нуст, кВт	150
Нб, м	30
Дрк, м	25
V_p , м/с	13
V_{min}	4
V_{max}	25

Для заданного варианта ВЭУ, рассчитайте:

- среднегодовую скорость ветра на высоте флюгера= высоте башни ВЭУ, если K_p - коэффициент пересчета с высоты 10 м на высоту 50 м меняется по линейному закону ($K_p=1$ – на высоте флюгера 10 м и $K_p=1,5$ на высоте флюгера 50 м);
- ометаемую площадь ветроколеса, m^2 ;
- годовое число часов работы и простоя ВЭУ, ч;
- значение КПД при расчетной скорости ветра (V_p).

Задание 11.2

Заданы на высоте флюгера= высоте башни рассматриваемой ВЭУ1 валовая годовая удельная энергия $\mathcal{E}_{уд}^{вал год} = 34,5 \text{ МВт.ч/м}^2$ и годовая выработка ВЭУ1 $\mathcal{E}_{ВЭУ}^{год} = 345 \text{ МВт.ч}$, определите валовой и технический потенциал с $F=1 \text{ км}^2$ за год с учетом ниже приведенной розы ветров (коэффициенты взаимного расположения $k=10$, $n=5$). При определении технического потенциала ВЭС не учитываем взаимное влияние ВЭС, собственные нужды и ремонт.

Роза ветров

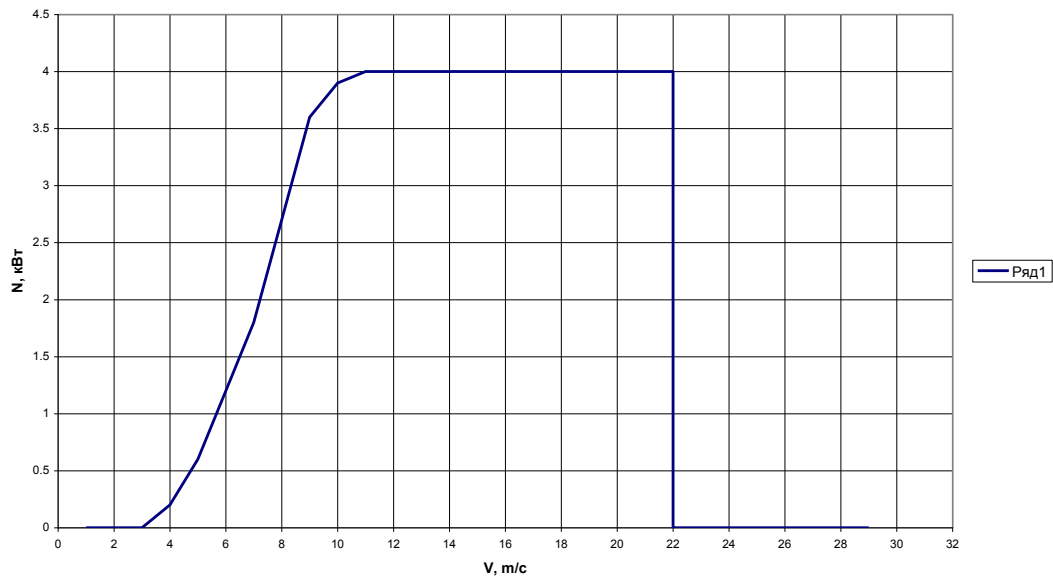
С	5.00	Параметры	ВЭУ1
С-В	5.00	Нуст, кВт	150
В	10.00	Нб, м	30
Ю-В	50.00	Дрк, м	20
Ю	10.00	V_p , м/с	11
Ю-З	10.00	V_{min}	3
З	6.00	V_{max}	25
С-З	4.00		

Задание 11.3

В рассматриваемой географической точке на высоте флюгера 10 м задана повторяемость скорости ветра $V_{по}$ по диапазонам. Определите годовую выработку заданной ВЭУ (ниже в таблице) по мощностной характеристика $N_{ВЭУ}(V)$ ветроустановки.

V, м/с	t(V), %	Параметры	ВЭУ1
0-2,5	20	Нуст, кВт	4
3,5 – 6,5	30	Нб, м	10
7,5 – 11,5	30	V_{min} , м/с	3,5
12,5 – 16,5	10	V_{max} , м/с	22
17,5 – 23,5	5	V_p	11
24,5 - 32	5	Дрк, м	5

Мощностная характеристика АВЭУ6-4М



Задание 11.4

Для географической точки задана удельная валовая годовая энергия ветра $\mathcal{E}_{уд}^{вал год} = 34,5 \text{ МВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ и годовая выработка ВЭУ (параметры ВЭУ приведены ниже в таблице) $\mathcal{E}_{ВЭУ}^{год} = 345 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ и среднегодовая рабочая мощность $N_{ВЭУ}^{г.ср.} = 70 \text{ кВт}$

Параметры	ВЭУ
Нуст, кВт	150
Нб, м	30
Дрк, м	20
V_p , м/с	11
V_{min}	3
V_{max}	25

а) определите:

- ометаемую площадь ветроколеса, м²;
- годовое число часов работы и простоя ВЭУ, ч;
- число часов работы ВЭУ с установленной мощностью;
- среднегодовое значение КПД ВЭУ по энергии.
- КПД ВЭУ при расчетной скорости ветра (V_p).

б) определите какая потребуется площадь для размещения 5 таких ВЭУ в городской зоне в км² при их расположении в один ряд (приняв $k=8$) и учитывая санитарные нормы при их размещении не менее 300 м до жилых строений, как по ширине так и по длине площадки; оцените валовую энергию и техническую энергию с этой площадки (при определении технического потенциала ВЭС не учитываем взаимное влияние ВЭУ, собственные нужды и ремонт).

Задание 11.5

Заданы на высоте флюгера = высоте башни рассматриваемой ВЭУ (параметры крыльчатой ВЭУ приведены ниже в таблице) валовая годовая удельная энергия $\mathcal{E}_{уд}^{вал год} = 15 \text{ МВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ и годовая выработка ВЭУ $\mathcal{E}_{ВЭУ}^{год} = 133 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$

Роза ветров

С	12.00	Параметры	ВЭУ
С-В	12.00	Нуст, кВт	30
В	16.00	Нб, м	20
Ю-В	15.00	Дрк, м	15
Ю	15.00	Vp, м/с	10
Ю-З	10.00	Vmin	3
З	10.00	Vmax	25
С-З	10.00		

- Определите валовой и технический потенциал с $F=0,5 \text{ км}^2$ за год с учетом приведенной розы ветров (коэффициенты $k=11$, $n=6$). При определении технического потенциала ВЭС не учитываем взаимное влияние ВЭС, собственные нужды и ремонт. Как влияет учет розы ветров на величину валового и технического потенциала?

- Для рассматриваемой ВЭУ определите: $\eta_{ВЭУ}$ (V_p); ометаемую площадь; коэффициент использования установленной мощности.

Задание 11.6

Заданы на высоте флюгера= высоте башни рассматриваемой ВЭУ1 (параметры ВЭУ1 приведены ниже в таблице) валовая годовая удельная энергия $\mathcal{E}_{уд}^{вал год} = 40 \text{ МВт.ч/м}^2$ и годовая выработка ВЭУ1 $\mathcal{E}_{ВЭУ}^{год} = 400 \text{ МВт.ч}$, определите валовой и технический потенциал с $F=1 \text{ км}^2$ за год с учетом ниже приведенной розы ветров (коэффициенты $k=10$, $n=5$). При определении технического потенциала ВЭС не учитываем взаимное влияние ВЭС, собственные нужды и ремонт. Как влияет учет розы ветров на величину валового и технического потенциал с $F=1 \text{ км}^2$?

Роза ветров

С	15.00	Параметры	ВЭУ1
С-В	15.00	Нуст, кВт	150
В	10.00	Нб, м	30
Ю-В	15.00	Дрк, м	20
Ю	10.00	Vp, м/с	11
Ю-З	15.00	Vmin	3
З	10.00	Vmax	25
С-З	10.00		

Задание 11.7

В рассматриваемой географической точке на высоте флюгера 30 м задана повторяемость скорости ветра $V_{по}$ по диапазонам и параметры ВЭУ

V, м/с	t(V), %
0-2,5	50
3,5 – 6,5	20
7,5 – 11,5	10
12,5 – 16,5	10
17,5 – 23,5	5
24,5 - 32	5

Параметры	ВЭУ1
Нуст, кВт	150
Нб, м	30
Дрк, м	30
Vp, м/с	10
Vmin	3
Vmax	25

ОПРЕДЕЛИТЕ:

- среднегодовую скорость ветра на высоте флюгера 10 м, если K_p - коэффициент пересчета с высоты 10 м на высоту 50 м меняется по линейному закону ($K_p=1$ – на высоте флюгера 10 м и $K_p=1,3$ на высоте флюгера 50 м).
- для варианта ВЭУ рассчитайте:
 - ометаемую площадь ветроколеса, м^2 ;

- годовое число часов работы и простоя ВЭУ, ч;
- значение КПД при расчетной скорости ветра (V_p).

Задание 11.8

Для географической точки задана удельная валовая годовая энергия ветра $\mathcal{E}_{уд}^{вал год} = 30 \text{ МВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ и годовая выработка ВЭУ (параметры ВЭУ приведены ниже в таблице) $\mathcal{E}_{ВЭУ}^{год} = 480 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ и среднегодовая рабочая мощность $N_{ВЭУ}^{г.ср.} = 70 \text{ кВт}$

Параметры	ВЭУ
Нуст, кВт	120
Нб, м	34
Дрк, м	25
V_p , м/с	14
V_{min}	3
V_{max}	25

а) определите:

- ометаемую площадь ветроколеса, м²;
- годовое число часов работы и простоя ВЭУ, ч;
- число часов работы ВЭУ с установленной мощностью;
- среднегодовое значение КПД ВЭУ по энергии.
- КПД (V_p).

б) определите какая потребуется площадь для размещения 2 таких ВЭУ в городской зоне в км² при их расположении в один ряд (приняв $k=10$) и учитывая санитарные нормы при их размещении не менее 300 м до жилых строений, как по ширине так и по длине площадки; оцените валовую энергию и техническую энергию с этой площадки (при определении технического потенциала ВЭС не учитываем взаимное влияние ВЭУ, собственные нужды и ремонт).

Задание 11.9

В рассматриваемой географической точке на высоте флюгера 30 м задана повторяемость скорости ветра V по диапазонам и параметры ВЭУ

V , м/с	$t(V)$, %
0-2,5	30.00
3,5 – 6,5	50.00
7,5 – 11,5	10.00
12,5 – 16,5	5.00
17,5 – 23,5	4.00
24,5 - 32	1.00

Параметры	ВЭУ1
Нуст, кВт	150
Нб, м	40
Дрк, м	30
V_p , м/с	10
V_{min}	3
V_{max}	25

ОПРЕДЕЛИТЕ:

- среднегодовую скорость ветра на высоте флюгера 10 м, если K_p - коэффициент пересчета с высоты 10 м на высоту 50 м меняется по линейному закону ($K_p=1$ – на высоте флюгера 10 м и $K_p=1,3$ на высоте флюгера 50 м).
- для варианта ВЭУ рассчитайте:
 - ометаемую площадь ветроколеса, м²;
 - годовое число часов работы и простоя ВЭУ, ч;
- значение КПД при расчетной скорости ветра (V_p).

Задание 11.10

В рассматриваемой географической точке на высоте флюгера 30 м задана повторяемость скорости ветра V по диапазонам и параметры ВЭУ

V, м/с	t(V), %
0-2,5	20
3,5 – 6,5	30
7,5 – 11,5	20
12,5 – 16,5	20
17,5 – 23,5	5
24,5 - 32	5

Параметры	ВЭУ1
Нуст, кВт	150
Нб, м	50
Дрк, м	30
Vp, м/с	10
Vmin	3
Vmax	25

ОПРЕДЕЛИТЕ:

- среднегодовую скорость ветра на высоте флюгера 10 м, если K_p - коэффициент пересчета с высоты 10 м на высоту 50 м меняется по линейному закону ($K_p=1$ – на высоте флюгера 10 м и $K_p=1,3$ на высоте флюгера 50 м).
- для варианта ВЭУ рассчитайте:
 - ометаемую площадь ветроколеса, m^2 ;
 - годовое число часов работы и простоя ВЭУ, ч;
- значение КПД при расчетной скорости ветра (V_p).

Пример выполнения задания 11.1

Решение представим в виде таблицы:

V, м/с	Vфакт, м/с	t(V), %	Vcp, м/с	F(V),%	Vcp*t(V)	Vнб левая граница, м/с
0-2,5	0-3	30	1,5	100	0,45	0
3,5 – 6,5	3-7	20	5	70	1	3.75
7,5 – 11,5	7-12	30	9,50	50	2,85	8.75
12,5 – 16,5	12-17	10	14,5	20	1,45	15
17,5 – 23,5	17-24	5	20,5	10	1,025	21.25
24,5 - 32	24-32	5	28	5	1,4	30
	Сумма	100		Vгод=	8,175	

Среднегодовую скорость ветра на высоте флюгера= высоте башни ВЭУ = $1,25*8,175=10,2$ (K_p для высоты башни ВЭУ 30м равна 1,25ед.)

Значение КПД при расчетной скорости ветра =23%.

Основные расчетные соотношения:

Как правило, при построении повторяемости скоростей ветра $t(V)$ переходят от интервалов скорости к средним по интервалу (градации). V_{cp} определяется, как среднее арифметическое значение границ двух смежных интервалов скорости V_{j-1} и V_j , т.е.:

$$V_j^{cp} = 0,5 \cdot (V_{j-1} + V_j) = 0,5 \cdot (0 + 3) = 1,5 \text{ м/с.} \quad (1)$$

причем если заданные градации скорости ветра являются непрерывными, тогда они совпадают с фактическими, в противном случае нужно провести корректировку заданных градаций (первая градация 0-2,5м/с, следующая 3,5-6,5м/с, границы имеют разрыв по диапазону скорости, поэтому нужно связать диапазоны путем введения новых границ интервалов. Например для первого и второго интервала $(2,5+3,5)/2=3$ м/с, следовательно первый и второй интервал будет 0-3, 3-7 и т.д.

Расчет выработки энергии рассматриваемого типа ВЭУ:

– по эмпирической кривой повторяемости заданного ряда среднечасовых скоростей за период T, кВт·ч :

$$\mathcal{E}_{\text{ВЭУ}} T = \sum_{i=1}^{n_{\text{град}}} [N_{\text{ВЭУ}}(\bar{V}_i) \cdot t_i(\Delta V_i)] \cdot T, \quad (1)$$

где $N_{\text{ВЭУ}}(V)$, кВт – мощностная (технологическая) характеристика ветроагрегата; $n_{\text{град}}$, ед. – количество градаций (диапазонов) эмпирической кривой повторяемости; T , ч – период наблюдения (как правило 1 год (8760ч)); \bar{V}_i , м/с – средняя скорость i -ой градации (интервала); $t_i(\Delta V_i)$, ед. – повторяемость скоростей ветра ΔV_i диапазона.

– по эмпирической кривой повторяемости заданного ряда среднечасовых скоростей за период T , ч:

$$T_{\text{ВЭУ}}^{\text{раб}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{град}}} [t_{\text{раб}}[\text{если } V_{\text{min}}^{\text{раб}} \leq \Delta V_i \leq V_{\text{max}}^{\text{раб}}.]]. T, \quad (2)$$

КПД ВЭУ рассчитывается по формуле:

$$\eta_{\text{ВЭУ}}(V_{\text{нб}}) = N_{\text{ВЭУ}}(V_{\text{нб}}) / N'_{\text{ВП}}(V_{\text{нб}}) = 150 \cdot 10^3 / (0,5 \cdot 1,226 \cdot 491 \cdot 13^3) = 0,23, \quad (3)$$

где $N'_{\text{ВП}}(V_{\text{нб}})$, Вт – мощность ветрового потока приходящегося на рабочее колесо (РК) ВЭУ:

$$N'_{\text{ВП}}(v_{\text{нб}}(t)) = 0,5 \cdot \rho \cdot F_{\text{РК}} \cdot V_{\text{нб}}^3, \quad (4)$$

где $\rho = 1,226$, кг/м³ – плотность воздуха; $F_{\text{РК}}$ – ометаемая лопастным ротором ВЭУ площадь с диаметром $D_{\text{РК}}$ (м):

$$F_{\text{РК}} = \pi D_{\text{РК}}^2 / 4 \quad (5)$$

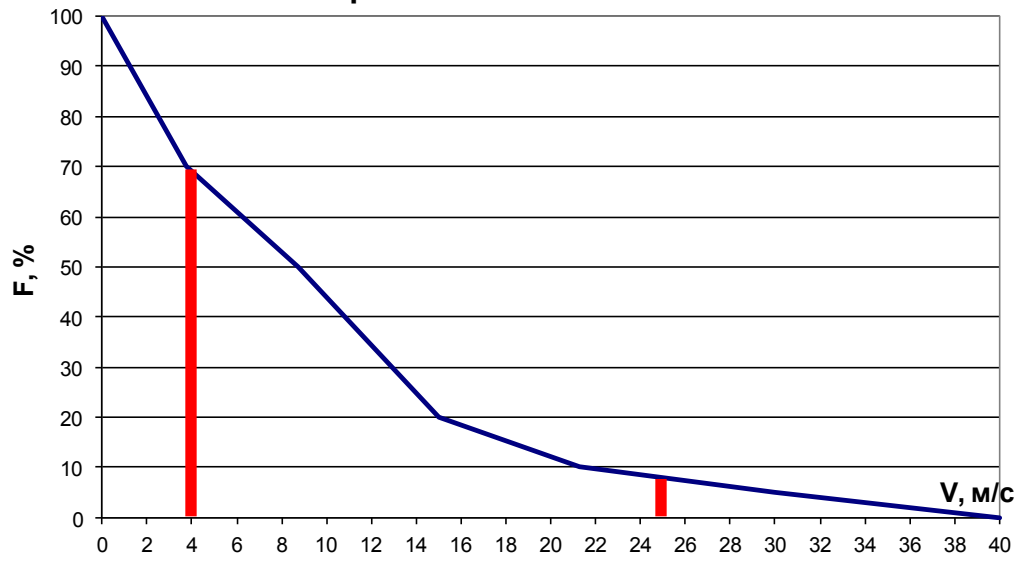
Кривая обеспеченности рассчитывается по формуле: $F(V) = 100\% - \sum_{i=1}^{n_{\text{град}}} t_i(\Delta V_i), \%$ (6)

Окончательно кривую обеспеченности скорости ветра строится в зависимости от левой границы диапазона (градации) кривой повторяемости пересчитанной на высоту башни ВЭУ, т.е. $V_{\text{нб}}^{\text{лев}} = \{0; 3; 7; 12; 17; 24\}$ · $K_p = \{0; 3,75; 8,75; 15; 21,25; 30\}$
 Далее графически определяем обеспеченности для минимальной и максимально рабочей скорости ВЭУ и общее время работы ВЭУ:

Траб. = $(F(V_{\text{min}}) - F(V_{\text{max}})) / 100\% \cdot 8760 \text{ч} = (69\% - 8\%) / 100\% \cdot 8760 \text{ч} = 5344 \text{ч}$

Тпр. = $8760 \text{ч} - \text{Траб.} = 3416 \text{ч}$.

Кривая обеспеченности



Директор института гидроэнергетики
и возобновляемых источников энергии

Т.А. Шестопалова