



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

Исследование допустимого соотношения мощности СЭС и ТЭС в балансе энергосистемы

Руководитель: доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ, И.М. Кац

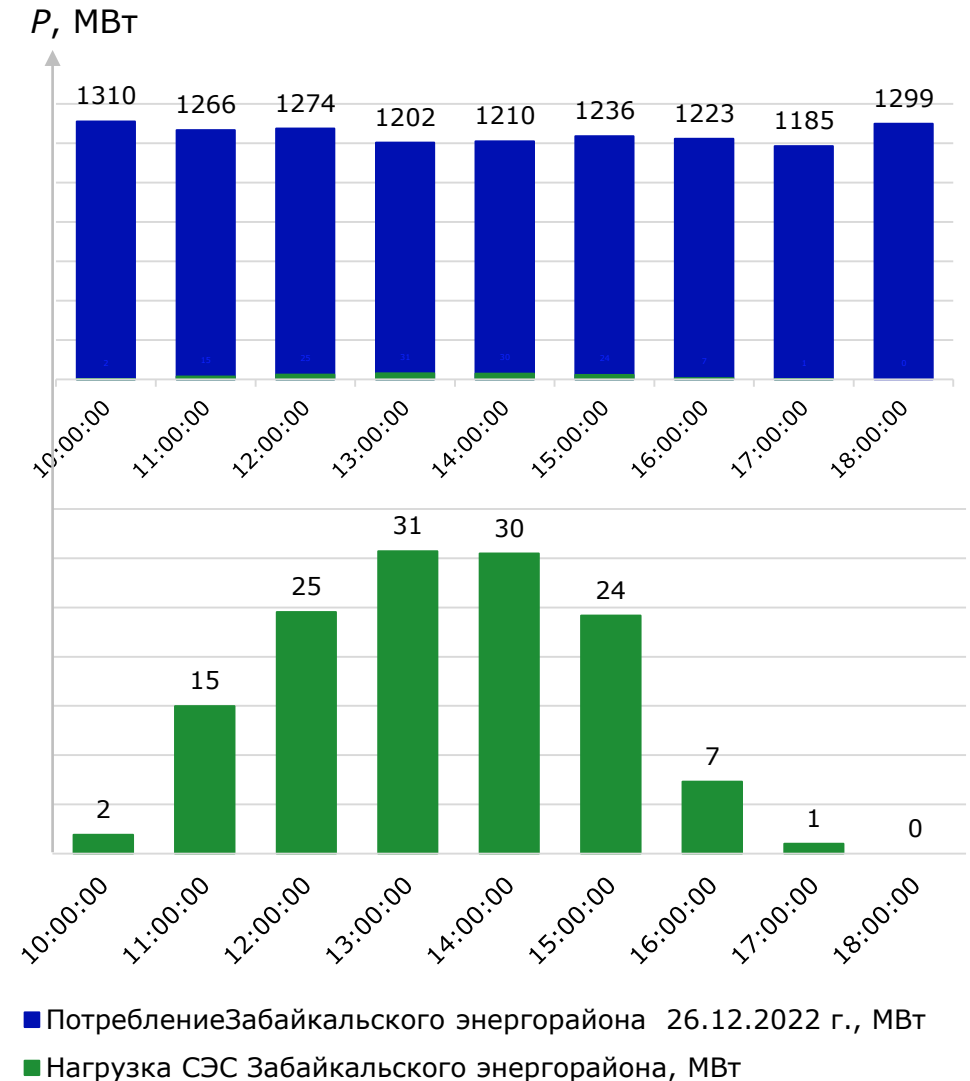
Выполнил: студент группы О-5КМ11, Д.С. Байкалова

Консультант: ведущий специалист СДПР ОДУ Сибири, Р.Р. Гафаров

Кемерово 2023



Проблема работы



Сравнение методов определения выдаваемой мощности СЭС на этапе краткосрочного планирования



Существующий подход

ВСВГО

Участник рынка подаёт заявленную мощность СЭС
 $P_{дг_заяв}$

Ежемесячный расчёт почасовых значений минимально обеспеченной нагрузки каждой СЭС

ПЭР

На стадии планирования ПЭР используется учёт генерации на основе ценовых заявок от собственников за предыдущие сутки

Предлагаемый подход

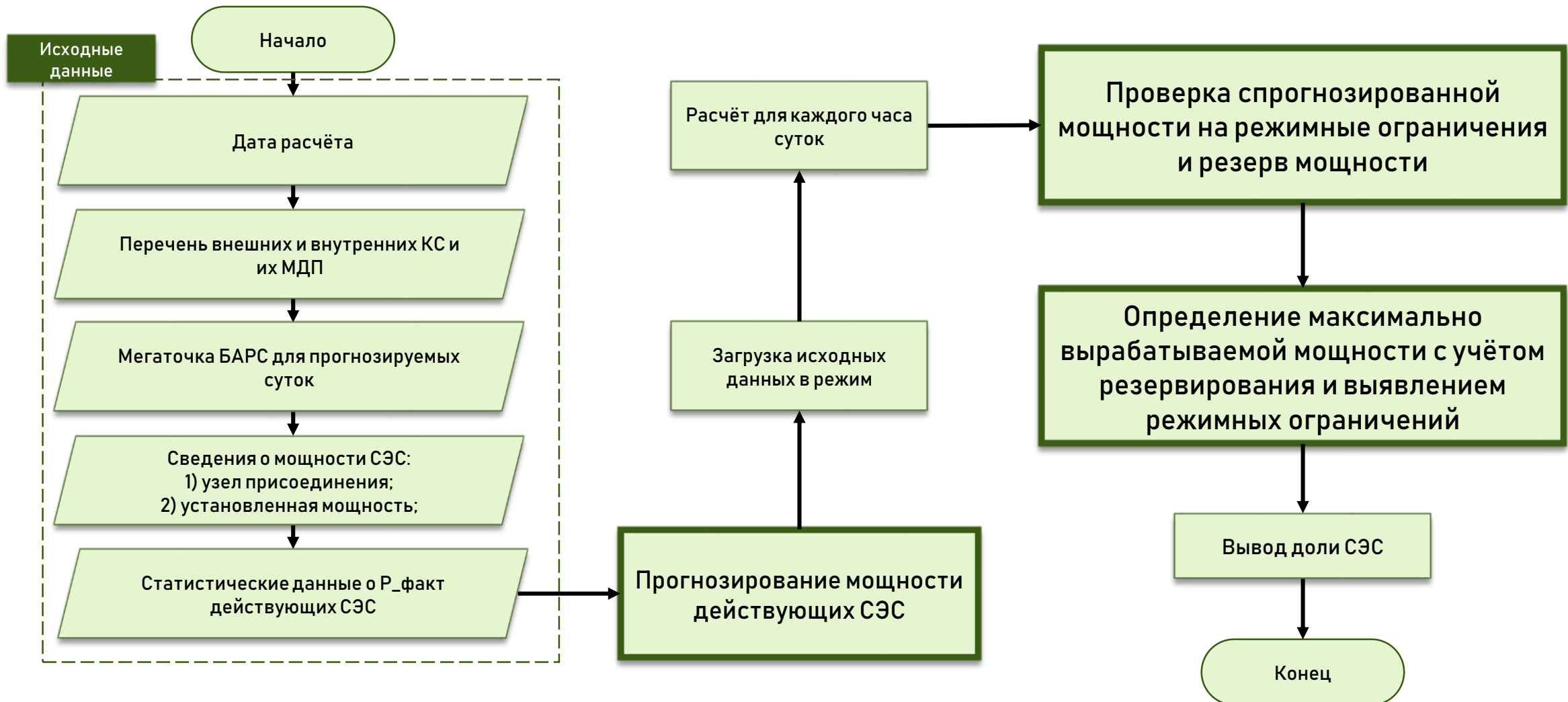
С помощью метода прогнозирования определяется прогнозная мощность СЭС

Оценка обеспечения резервирования мощности и режимных ограничений

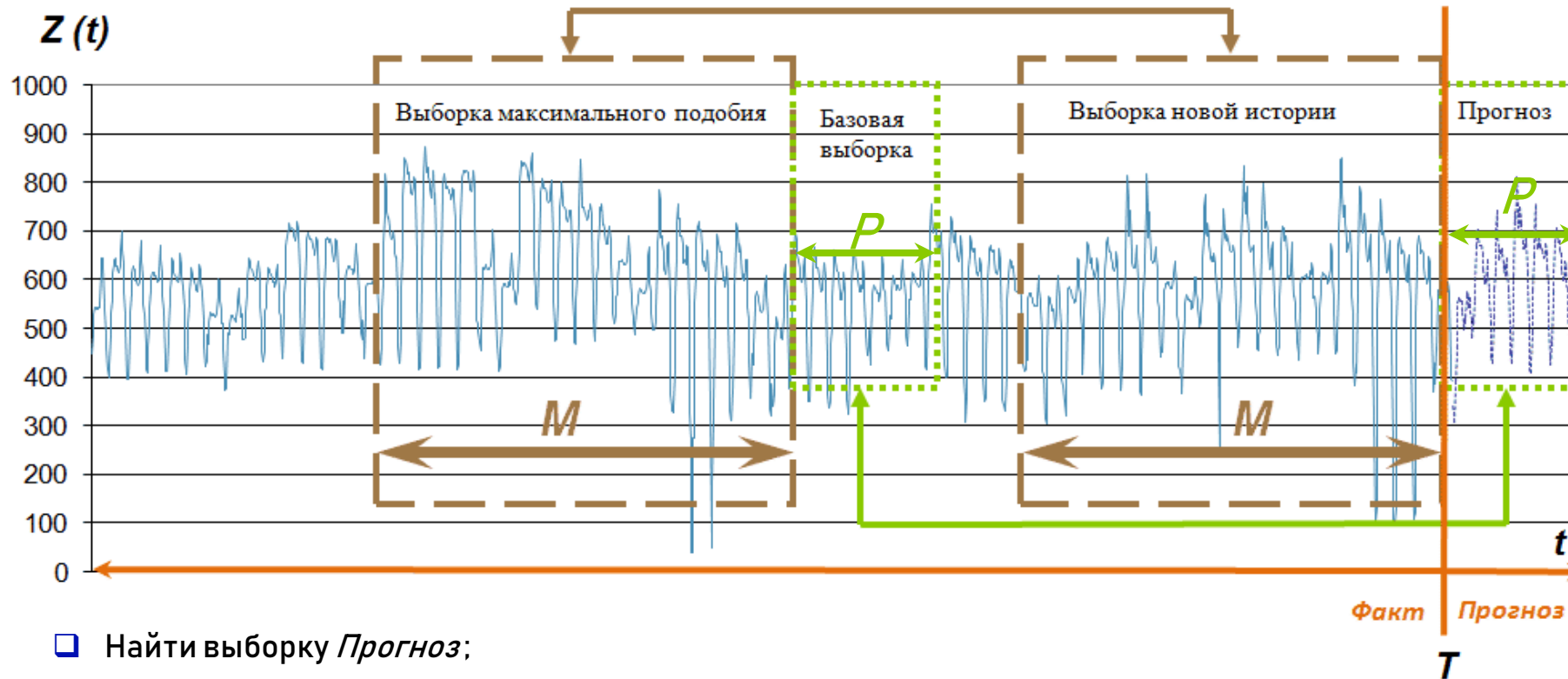
Определение максимально допустимой мощности СЭС

Определение доли СЭС

Метод определения допустимой мощности СЭС на этапе краткосрочного планирования



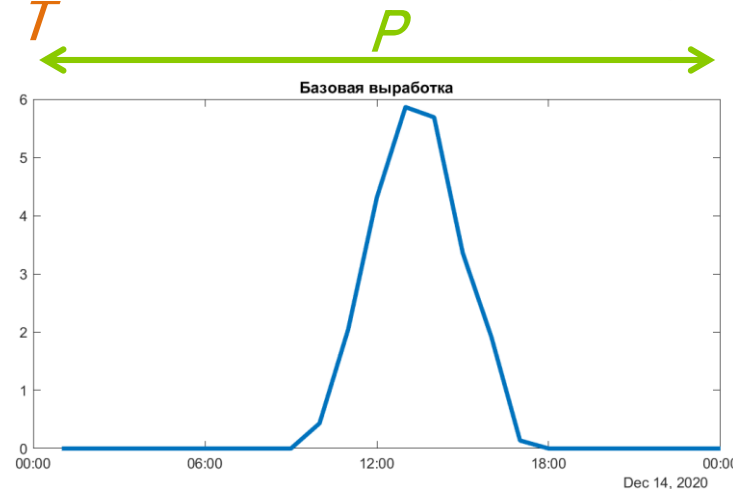
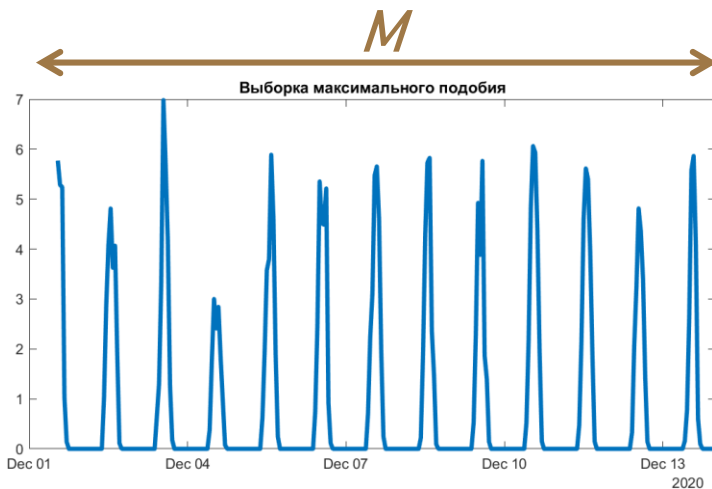
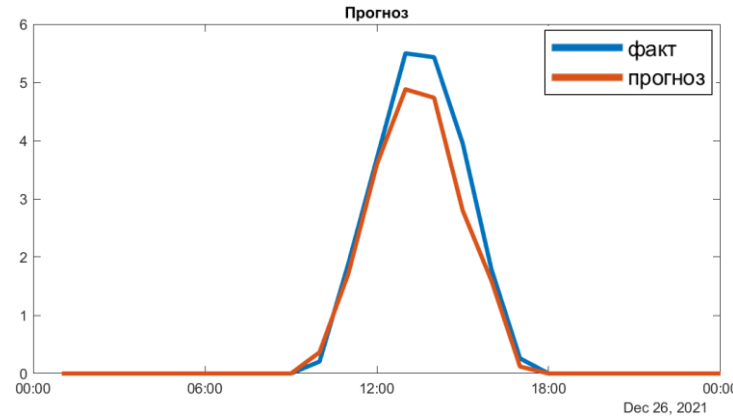
Метод выборки максимального подобия



T – момент прогноза
 M – количество часов в прошлом
 P – количество значений в будущем

- ❑ Найти выборку *Прогноз*;
- ❑ Доступна *Выборка новой истории*;
- ❑ Определение *Выборки максимального подобия* через коэффициент корреляции;
- ❑ Изменение генерации в выборке *Прогноз* происходит с учётом особенностей соответствия *Выборки максимального подобия* и *Выборки новой истории*;
- ❑ Основа для прогнозных значений – *Базовая выборка*.

Работа метода выборки максимального подобия на выработке мощности СЭС в Забайкальской ЭС



Дата	Ошибки	$sMSE, \%$	$WAPE, \%$
20.03.2022		53,78	33,3
14.06.2022		10,87	19,99
26.12.2021		10,78	14,23
05.02.2023		18,24	23,03

$$sMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \hat{Z}_i)^2}{\bar{Z}_i^2} \cdot \frac{1}{n}$$

взвешенная абсолютная процентная ошибка

$$WAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z_i - \hat{Z}_i|}{\sum_{i=1}^n Z_i}$$

масштабированная среднеквадратичная ошибка

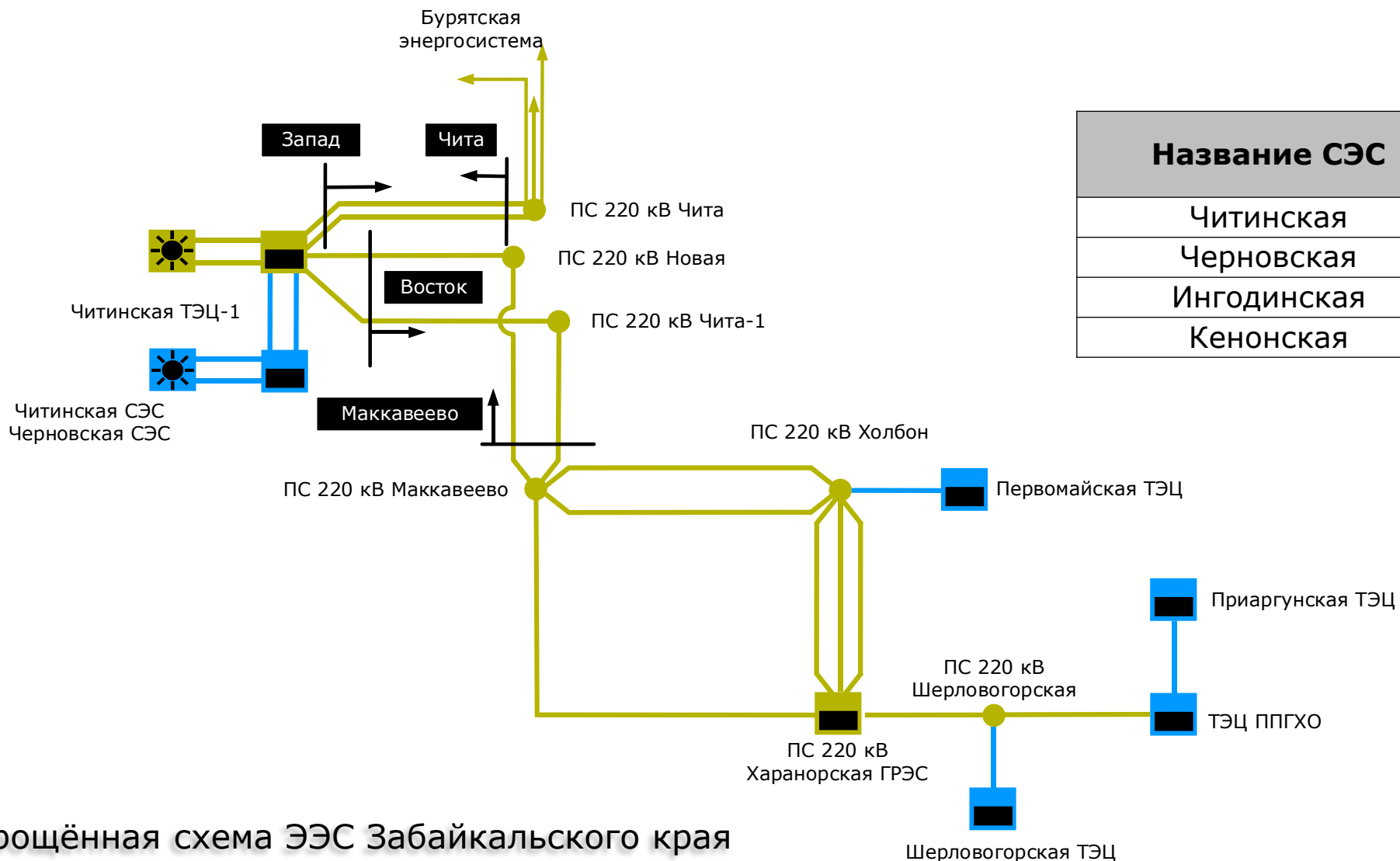
T – момент прогноза

M – количество часов

P – количество значений в будущем

Прогноз на 26 декабря 2021 года

Апробирование метода на Забайкальской ЭС



Название СЭС	Установленная мощность, МВт
Читинская	35
Черновская	35
Ингодинская	15
Кенонская	15

Апробирование метода на Забайкальской ЭС

Режим	Расчётный час	МДП в сечении Запад, МВт	Переток в сечении Запад при максимальной выработке СЭС, МВт		Выработка базовой генерации, МВт		Выработка солнечных электростанций, МВт		Соотношение СЭС к базовой генерации, %	
			При P_уст_СЭС	При P_прогноз_СЭС	При P_уст_СЭС	При P_прогноз_СЭС	При P_уст_СЭС	При P_прогноз_СЭС	При P_уст_СЭС	При P_прогноз_СЭС
Летний режим, июнь 2022 г.	08:00	242	241	210	805	861	100	19,22	12,42	2,23
	10:00		242	241	811	867		48,79	12,33	5,63
	12:00		241	202	861	871		53,74	11,61	6,17
	18:00		242	201	820	871		16,67	12,20	1,91
Летний режим, июль 2022 г.	08:00	242	242	179			82	19,94	11,39	2,77
	10:00		215	169	720	720*	100	54,68	13,89	9,84
	12:00		220	194				73,68		10,23
	15:00		242	211			99	68,06	13,75	9,45
	18:00		217	142			100	25,75	13,89	3,58
Летний режим, август 2022 г.	08:00	222	206	144	751	751	100	19,94	13,32	2,66
	10:00		131	105	766	766		54,68		7,14
	12:00		141	133				73,68		9,62
	18:00		140	85				25,75		3,36

При P_уст_СЭС – расчёты выполнены при установленной мощности действующих СЭС

При P_прогноз_СЭС – расчёты выполнены при спрогнозированной мощности действующих СЭС

* - отсутствие регулировочного диапазона у традиционных источников энергии

Апробирование метода на Забайкальской ЭС



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

Режим	Расчётный час	МДП в сечении Запад, МВт	Переток в сечении Запад при максимальной выработке СЭС, МВт		Выработка базовой генерации, МВт		Выработка солнечных электростанций, МВт		Соотношение СЭС к базовой генерации, %	
			Установленная мощность	Спрогнозированная мощность	Установленная мощность	Спрогнозированная мощность	Установленная мощность	Спрогнозированная мощность	Установленная мощность	Спрогнозированная мощность
Зимний режим, декабрь 2022 г.	10:00	242	203	100	1162	1162	100	4,57	8,61	0,30
	12:00		217	125	1157	1157		11,43	8,64	0,83
	17:00		225	133	1144	1144		0,54	8,74	0,05
Зимний режим, февраль 2023 г.	10:00	242	242	176	1181	1226	100	4,18	8,47	0,34
	12:00			193	1174	1222		19,22	8,52	1,57
	17:00			241	1118	1226		17,40	8,94	1,42

Сравнение методов определения выдаваемой мощности СЭС на этапе среднесрочного планирования

Существующий подход

Учёт вводимой мощности СЭС в составе ЭС :

- Срок эксплуатации менее одного года $\rightarrow P_{\text{расп}} = 0$
- Срок эксплуатации от одного до трёх лет $\rightarrow P_{\text{расп}} = P_{\text{min}}$
- Срок эксплуатации более трёх лет $\rightarrow P_{\text{расп}} = P_{\text{ср max потр}}$
 - Проектируемые СЭС и ВЭС $\rightarrow P_{\text{расп}} = 0$

$P_{\text{расп}}$ определяется через фактическую мощность действующих СЭС в следующие периоды:

- с 1 января по 28(29) февраля
 - с 1 июня по 31 августа
 - в период паводка

Предлагаемый подход

Определение моментов времени, соответствующие минимум и максимуму потребления мощности

Для действующих СЭС по имеющимся объёмам статистических данных усредняются данные о выработке активной мощности СЭС для определённых моментов времени

Определение мощностей СЭС планируемых к вводу

Проверка на режимные ограничение и резерв; Определение допустимой мощности СЭС

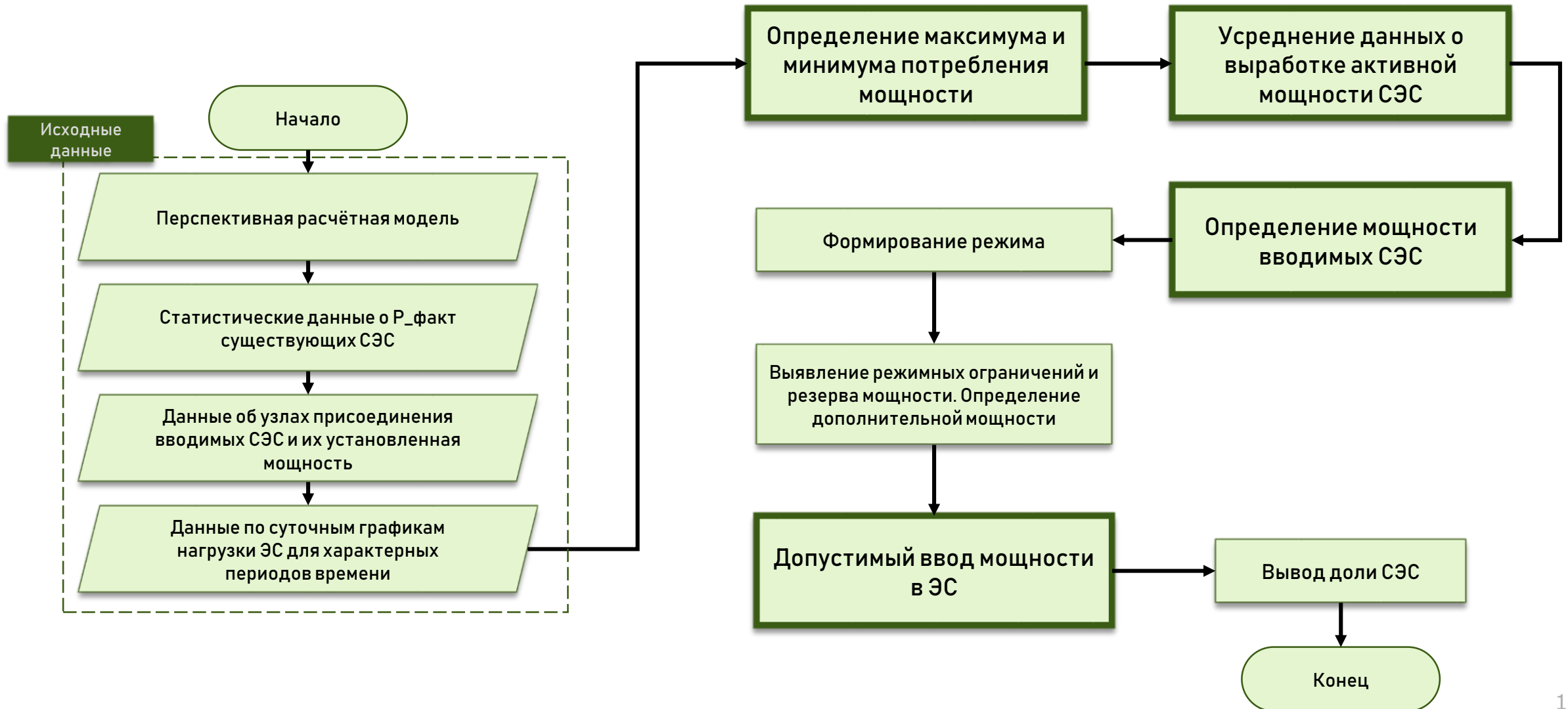
Формирование информации о допустимом вводе мощности СЭС в энергорайоне

$P_{\text{расп}}$ - располагаемая мощность;

P_{min} - минимальная величина нагрузки за указанные периоды;

$P_{\text{ср max потр}}$ - средняя величина нагрузки в час максимума потребления мощности каждых суток за указанные периоды.

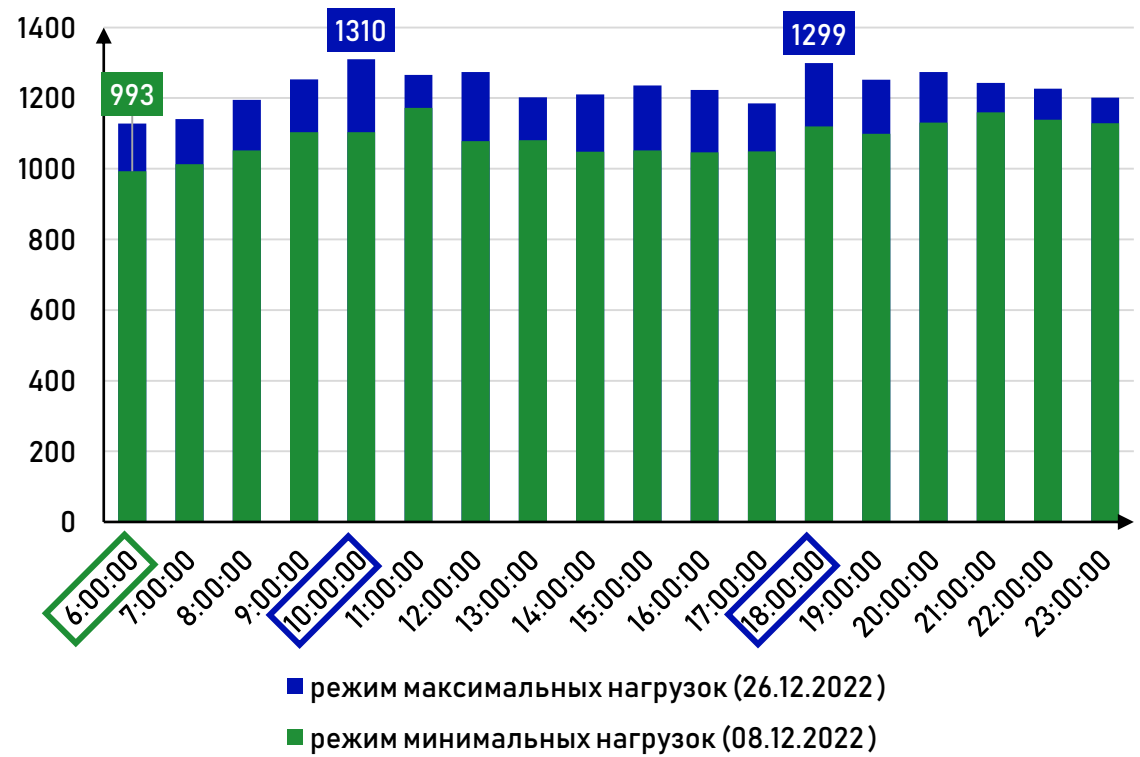
Метод определения допустимой мощности СЭС на этапе среднесрочного планирования





Определение максимума и минимума потребления мощности. Усреднение выработки действующих СЭС

Зимний режим

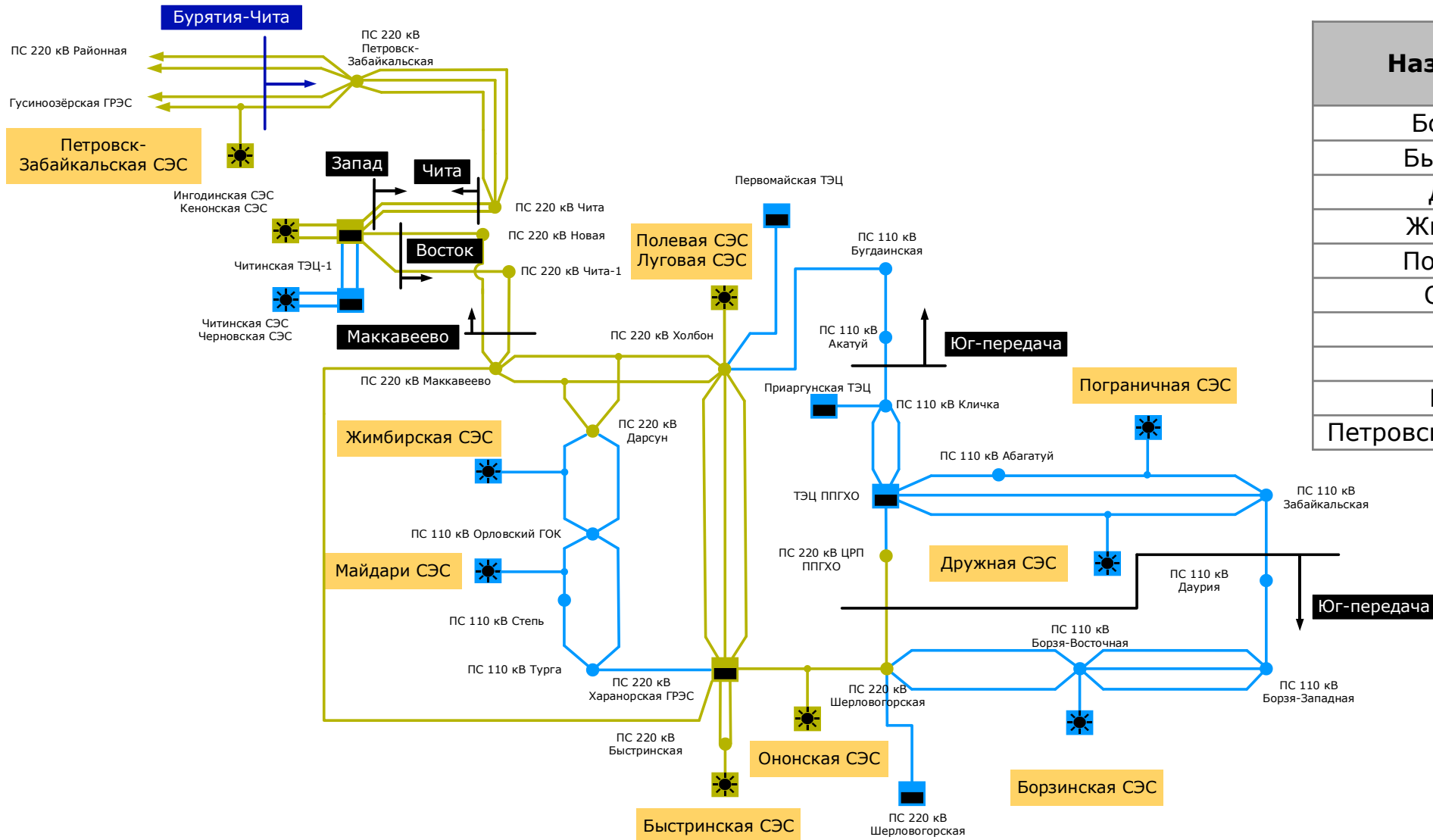


Режимы потребления мощности Забайкальской энергосистемы:

Определение коэффициента средней выработки мощности СЭС

Время, ч	Наименование СЭС	Средняя выработка, МВт	Установленная мощность, МВт	$k_{СЭС}$, о.е.	$k_{СЭС ср}$, о.е.
Зимний максимум					
10:00	Кенонская	0,76	15	0,051	0,076
	Ингодинская	0,87	15	0,058	
	Читинская	4,10	35	0,117	
	Черновская	2,70	35	0,077	
18:00	Кенонская	0,24	15	0,016	0,010
	Ингодинская	0,23	15	0,015	
	Читинская	0,031	35	0,089	
	Черновская	0	35	0	
Зимний минимум					
06:00	Действующие СЭС	0	100	0	0

Схема Забайкальской ЭС с учётом вводимых СЭС



Результат расчётов оценки доли СЭС на перспективу 2028 г.

Режимно-балансовые условия		Расчётная температура, °C	Максимум потребления, МВт	Резервирует СЭС	Выработка базовой генерации, МВт	Выработка солнечных электростанций, МВт	Ограничение на выдачу мощности СЭС, МВт	Соотношение СЭС к базовой генерации, %
Мощность СЭС, планируемая к вводу								
1.1. Зимний максимум (утро)		$t_{\text{зима } 0,92} = -37$	1917	Внешний переток	1526	77,5	834,3	5,08
1.4. Зимний максимум (вечер)		$t_{\text{ГОСТ}} = -5$	1594		1327	9,9	901,9	0,75
1.5. Зимний минимум		$t_{\text{зима } 0,92} = -37$	1526		1326	0	911,8	0
2.1. Летний максимум (утро)		$t_{\text{лето } 0,98} = 27$	856		694	282	629,8	40,64
2.4. Летний максимум (вечер)		$t_{\text{лето норм.}} = 18,7$	800		887	10,3	901,5	1,16
2.5. Летний минимум		$t_{\text{лето норм.}} = 18,7$	641		770	8,6	903,2	1,12
Максимальная мощность СЭС, планируемая к вводу								
Зимний максимум (утро)	1.1	$t_{\text{зима } 0,92} = -37$	1917	Внешний переток, базовая генерация	874	880,2	31,6	100,7
	1.2	$t_{\text{ГОСТ}} = -5$	1607		819	741,3	170,5	90,5
Зимний максимум (вечер)	1.3	$t_{\text{зима } 0,92} = -37$	1901		854	854,5	57,3	100,05
	1.4	$t_{\text{ГОСТ}} = -5$	1594		819	723,3	183,5	88,91
Зимний минимум	1.5	$t_{\text{зима } 0,92} = -37$	1526		819	688	223,8	83,99
	1.6	$t_{\text{ГОСТ}} = -5$	1279		819	513,2	393,6	63,26
Летний максимум (утро)	2.1	$t_{\text{лето } 0,98} = 27$	856		600	408,6	503,2	68,13
	2.2	$t_{\text{лето норм.}} = 18,7$	830		600	384	527,8	64,03
Летний максимум (вечер)	2.3	$t_{\text{лето } 0,98} = 27$	825		600	381,7	560,1	63,64
	2.4	$t_{\text{лето норм.}} = 18,7$	800		600	357,1	554,7	59,53
Летний минимум	2.5	$t_{\text{лето норм.}} = 18,7$	641	600	271,9	639,9	45,33	

Ограничение по допустимому объёму генерации

Летний режим максимальных нагрузок

Допустимый объём установленной мощности СЭС в энергорайоне

$$P_{\text{доп СЭС}} = \frac{P_{\text{max СЭС}}}{k_{\text{СЭС ср}}} = \frac{20}{0,2787} = 72 \text{ МВт}$$

Наименование СЭС	Установленная мощность, МВт Летний максимум (утро)	Максимальное значение мощности СЭС / Допустимый объём установленной мощности СЭС в энергорайоне, МВт
Борзинская	60	20 / 72
Быстринская	60	20 / 72
Дружная	60	20 / 72
Жимбирская	60	20 / 72
Пограничная	60	20 / 72
Ононская	127,8	39 / 140
Луговая	133	45 / 161
Полевая	141	40 / 144
Майдари	210	60 / 215

$P_{\text{max СЭС}}$ - максимальная мощность СЭС

$k_{\text{СЭС ср}}$ - коэффициент средней выработки мощности СЭС, определяемый через мощности действующих СЭС

Краткосрочное планирование

- ❑ При максимальной выработке мощности СЭС их доля составляет практически 12 % относительно базовой генерации;
- ❑ Из-за отсутствия регулировочного диапазона у базовой генерации в некоторых часах суток необходимо было ограничить выработку мощности СЭС, иначе был бы достигнут МДП в КС «Запад».

Среднесрочное планирование

- ❑ Ограничивающим фактором является перетоки в КС «Маккавеево» и «Юг-передача»;
- ❑ В некоторых режимах выработка мощности СЭС может составлять 50% от всей выработки Забайкальской ЭС;
- ❑ Допустимое значение объёма генерации для ввода в работу в Забайкальскую ЭС 1020 МВт.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!