

АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ: ЕНЭС в цифрах

2586 лэп 

1309 п/с 

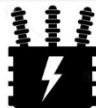
110 - 1150 кВ 

557, 73 млрд. кВт*ч 

113 межгосударственных
лэп



351 П/С 1150 кВ



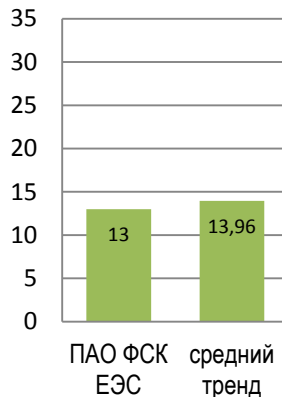
Тех. обслуживание и ремонт
– 14,171 млрд. руб.



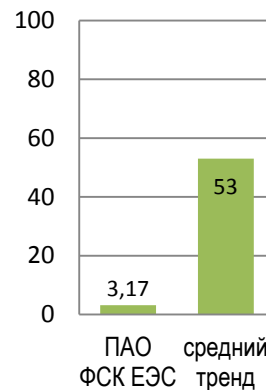
Строительство ЛЭП и ПС
– 103,3 млрд. руб.



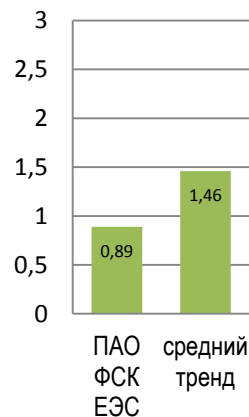
Физический износ
оборудования (%)



Снижение затрат
на ТОиР (%)



Снижение
потерь ЭЭ (%)



Стратегические цели развития ЕНЭС

Отсутствие
роста крупных
аварий и
несчастных
случаев

Выполнение
графика ввода
объектов в
эксплуатацию

Достижение
уровня
надёжности
оказываемых
услуг

Увеличение
загрузки
мощности
электросетевого
оборудования

Снижение
уровня потерь
электроэнергии

*Проект Энергетической стратегии России до 2035 года.

*Программа инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» на 2016-2020 годы с перспективой до 2025 года

АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ: Эффективность функционирования ЕНЭС

Целевой показатель

Динамика развития электросетевого комплекса (П1)

Эффективность технических воздействий (П2)

Эффективность реализуемых мероприятий (строительство и реконструкцию объектов капитального строительства) (П3)

Эффективность мероприятий по снижению потерь (П4)

Эффективность мероприятий по снижению затрат на техническое обслуживание и ремонт (П5)

Аварийность (П6)

Оценка

Динамика количества закрытых центров питания = -2,95%

Величина затрат на мероприятия по поддержанию заданного уровня ТО = 2,662

Доля удовлетворенных заявок потребителей на организацию техприсоединения = 72,45%

Динамика потерь = -0,89 %

Динамика удельных затрат на ТОиР = -3,17 %

Удельная аварийность = -16%

Индекс показателя

КПЭ 1

КПЭ 2

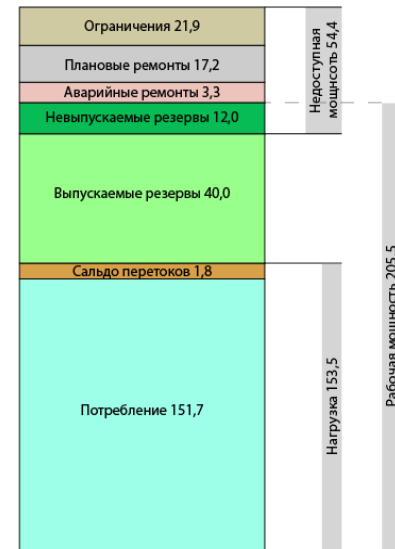
КПЭ 3

КПЭ 4

КПЭ 5

КПЭ 6

Годовой максимум 2019



ЕНЭС может быть эффективнее

Сальдо перетоков энергии

- 2018 – «-» 15363
- 2019 – «-» 21193

*Годовой отчёт ФСК ЕЭС
2018 – пространство развития



АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ: Карта КПЭ (ключевых показателей эффективности) ЕНЭС до 2030

технологическая эффективность

	2016–2019		
<i>низкая</i>	КПЭ 1 КПЭ 3		КПЭ 2
<i>средняя</i>		КПЭ 4	
<i>высокая</i>	КПЭ 6		КПЭ 5
	<i>высокая</i>	<i>средняя</i>	<i>низкая</i>

технологическая эффективность

	2020–2024		
<i>низкая</i>	КПЭ 2		
<i>средняя</i>	КПЭ 3		КПЭ 1
<i>высокая</i>	КПЭ 6		КПЭ 5 КПЭ 4
	<i>высокая</i>	<i>средняя</i>	<i>низкая</i>

технологическая эффективность

	2025–2030		
<i>низкая</i>			
<i>средняя</i>		КПЭ 1 КПЭ 2	
<i>высокая</i>	КПЭ 6	КПЭ 5 КПЭ 4	КПЭ 3
	<i>высокая</i>	<i>средняя</i>	<i>низкая</i>

экономическая эффективность
(удельные экономические затраты)



экономическая эффективность
(удельные экономические затраты)



экономическая эффективность
(удельные экономические затраты)

Технологическая модернизация ЕНЭС

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ: Направления и способы для снижения потерь в ЕНЭС



Оптимизация схемных и режимных параметров

Меры ФСК ЕЭС



- поддержание оптимальных режимов по Q и U
- отключение оборудования в режимах малых нагрузок
- сокращение продолжительности ТОиР



«Энергоэффективная подстанция»

Меры ФСК ЕЭС



- система частотного управления охлаждением автотрансформаторов
- тепловой насос, использующий тепло АТ
- система утилизации тепла (контур обогрева)



Реконструкция и развитие электрических сетей

Меры ФСК ЕЭС



- цифровая подстанция и цифровое проектирование
- применение технологии ВТСП
- Расширение применения технологии АСУТП и АСМД



Наши предложения



- оптимизация распределения нагрузки между П/С за счет переключений в схеме
- оптимизация рабочих U в ЦП радиальных сетей
- ввод в работу неиспользуемых средств БАУРПН



Наши предложения



- контактные теплообменники
- применение энергоэффективных циркуляционных насосов
- автоматизация работы обогрева баков и электроприводов масляных выключателей



Наши предложения

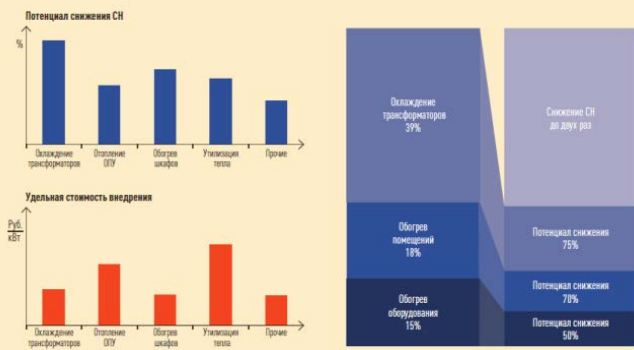


- Digital Smart Grid – DSG – «Цифровая умная сеть»



ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ: «Энергоэффективная подстанция»

ПОТЕНЦИАЛ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА НА СН ПС



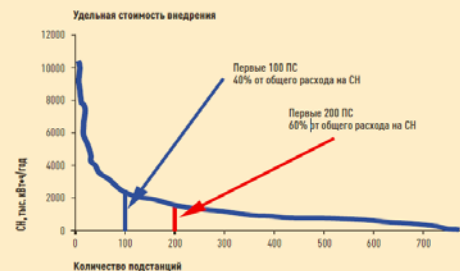
ГРАНИЧНЫЕ УРОВНИ СОКРАЩЕНИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СН ПС

Показатель	Технологический потенциал+, %	Эффект, окупаемый мероприятиями*			затраты, млн руб.
		снижение+, %	снижение, млн кВт·ч	эффект, млн руб.	
Расход на охлаждение трансформаторов и реакторов	75	18	68	58,62	590
Расход на обогрев оборудования	50	10	14	12,53	125
Расход на электродвигатели компрессоров воздушных выключателей	5	2	1	1,00	10
Обогрев помещений	70	15	26	22,55	220
Внутреннее и наружное освещение	50	7	2	1,75	18
Итого	51,15	11,55	111	96,45	963

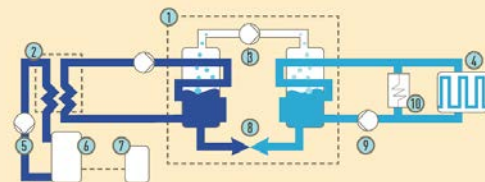
* Окупаемый эффект – сокращение расхода, достигнутое только за счет окупаемых мероприятий.
+ Доля сокращения от составляющей расхода на СН ПС.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СН ПС ПАО «ФСК ЕЭС»

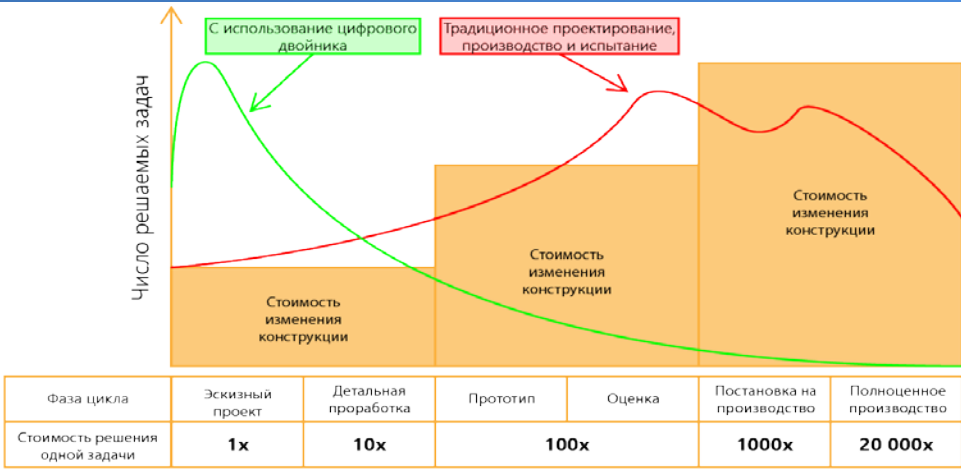
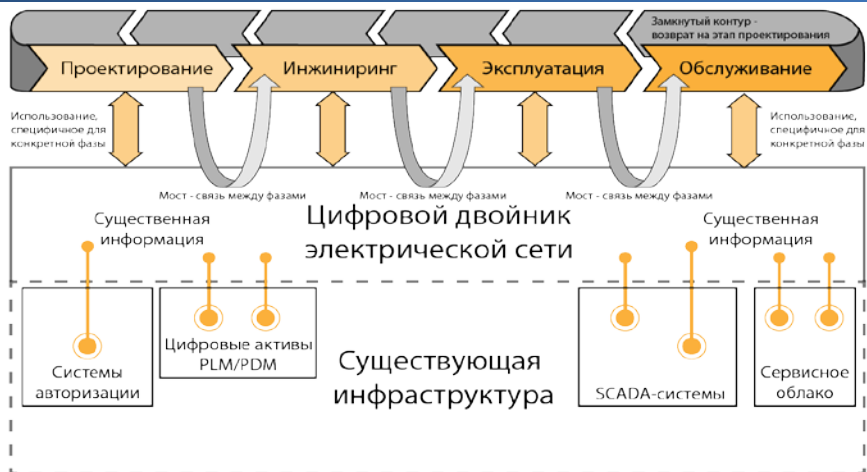


ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ТРАНСФОРМАТОРА



1. Тепловой насос. 2. Теплообменник. 3. Компрессор. 4. Система отопления здания. 5. Циркуляционный насос масляного контура. 6. Автотрансформатор. 7. Шкаф управления охлаждением автотрансформатора. 8. Дроссель. 9. Циркуляционный насос. 10. Резервные электродвигатели.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ: Digital Smart Grid – «Цифровая умная сеть»



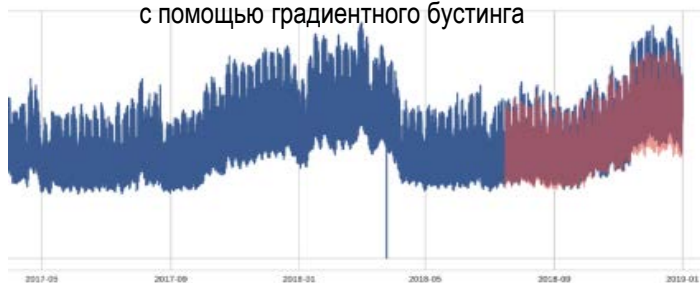
```
cat_features=np.where(X.dtypes == 'category')[0]
eval_dataset = Pool(X_test, y_test)

model = CatBoostRegressor(learning_rate=0.5,
                           eval_metric='RMSE',
                           leaf_estimation_iterations=3,
                           depth=3)

model.fit(X_train, y_train,
          eval_set=(X_val, y_val),
          cat_features=cat_features,
          plot=True,
          verbose=True)

pred = model.predict(X_test)
```

Возможности предсказания параметров и режимов с помощью градиентного бустинга



— исходные данные — спрогнозированные данные



ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ: Digital Smart Grid – «Цифровая умная сеть»

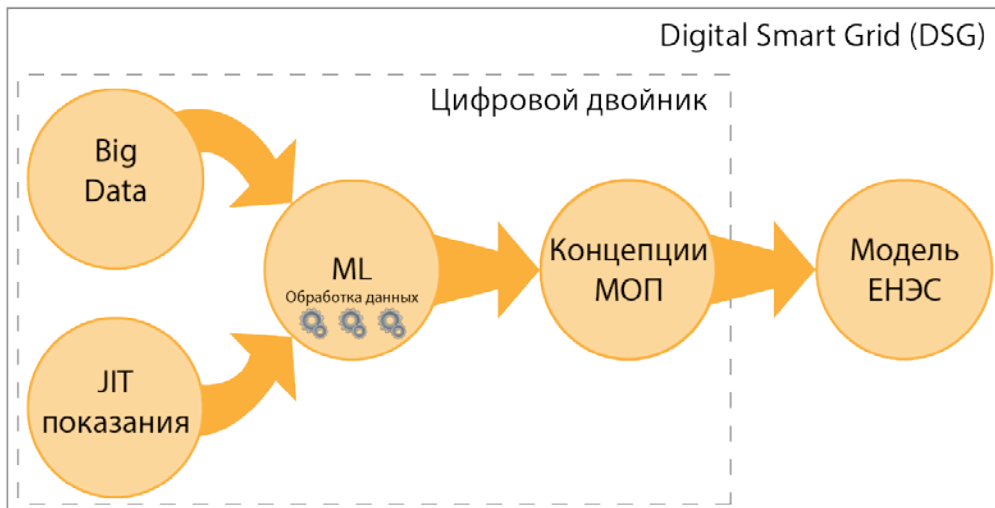
Цифровой двойник



Реальные электрические сети



Digital Smart Grid (DSG)



Предпосылки использования Цифрового двойника (ЦД):

- уже применяются в некоторых элементах ЭЭС;
- достаточный технологический потенциал для внедрения в ЕНЭС.

Эффекты от использования ЦД:

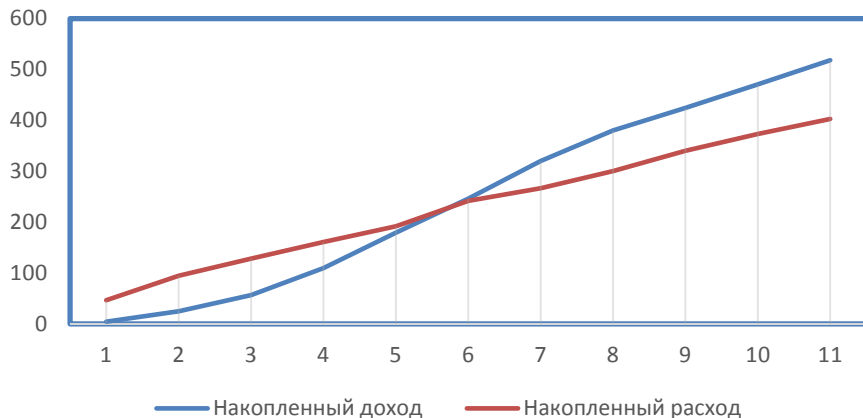
- расходы на техническое обслуживание, - 25%;
- устранение аварий, -70%;
- незапланированный простой, -35%;
- производительность, +20%.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЕНЭС: Объемы и приоритеты до 2030 года



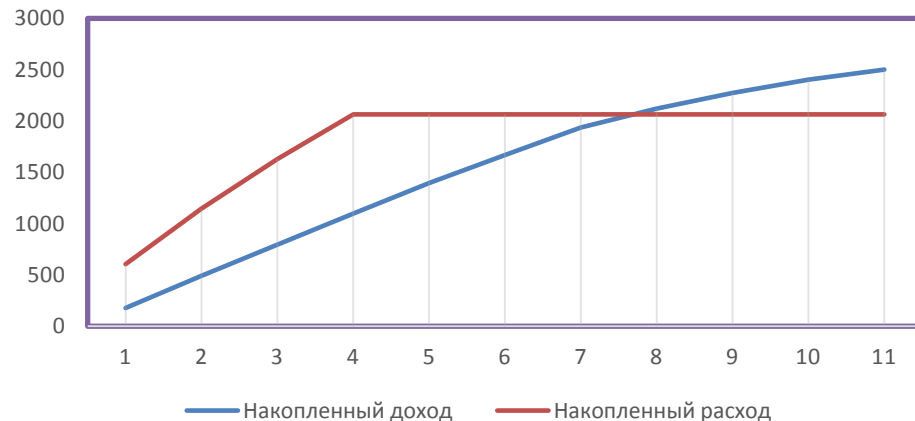
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЕНЭС: Экономическая оценка инвестиционного проекта

Экономическая эффективность мероприятий по программе энергосбережения, млн.руб.



NPV, млн.руб.	B/ratio	Pi, P	IRR, %	DPP, лет
115,24	1,286	0,29	34	5,5

Экономическая эффективность мероприятий по программе "Энергоэффективная подстанция", млн.руб.



NPV, млн.руб.	B/ratio	Pi, P	IRR, %	DPP, лет
437,11	1,212	0,21	20	7,8

«Начало системной работы по реализации государственной политики началось фактически 10 лет назад, с появлением закона по энергосбережению и повышению эффективности. За прошедший период были достигнуты определенные успехи, но нужно отметить, что те амбициозные цели, которые ставились 10 лет назад, они, к сожалению, не достигнуты. Что говорит не о том, что нет потенциала, а говорит о том, что нужно найти новую форму сотрудничества»

Генеральный директор АО «НТЦ ФСК ЕЭС» **Рябин Тимофей Викторович**



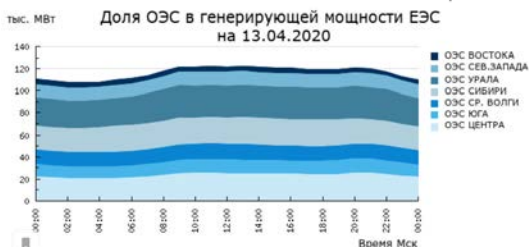
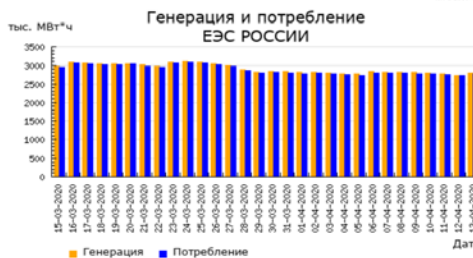
ПРИЛОЖЕНИЕ 2: Расчет КПЭ ЕНЭС

КПЭ 1	ось x (млрд.руб.)	ось y (%)	КПЭ 2	ось x (млрд.руб.)	ось y (%)	КПЭ 3	ось x (млрд.руб.)	ось y (%)
диапазоны	0-2,1-4,2-6,3	(-46)-(-8)-(30)-(68)	диапазоны	0-4,8-9,6-14,4	0-0,9-1,8-2,7	диапазоны	0-2,1-4,2-6,3	60-73,3-86,6-100
значение	1,8	-2,95	значение	14,1	2,662	значение	1,8	72
среднее		2,196	среднее		0,49	среднее		
КПЭ 4	ось x (уд. млрд.руб.)	ось y (%)	КПЭ 5	ось x	ось y (%)	КПЭ 6	ось x	ось y (%)
диапазоны	0,188-0,213-0,239-0,264	(-14)-(-3)-(8)-(-19)	диапазоны	положительный	0-33,3-66,6-100	диапазоны	положительное	наибольшее
значение	0,232	0,89	значение	3,17	3,17	значение	16	16
среднее		1,46	среднее		53	среднее		

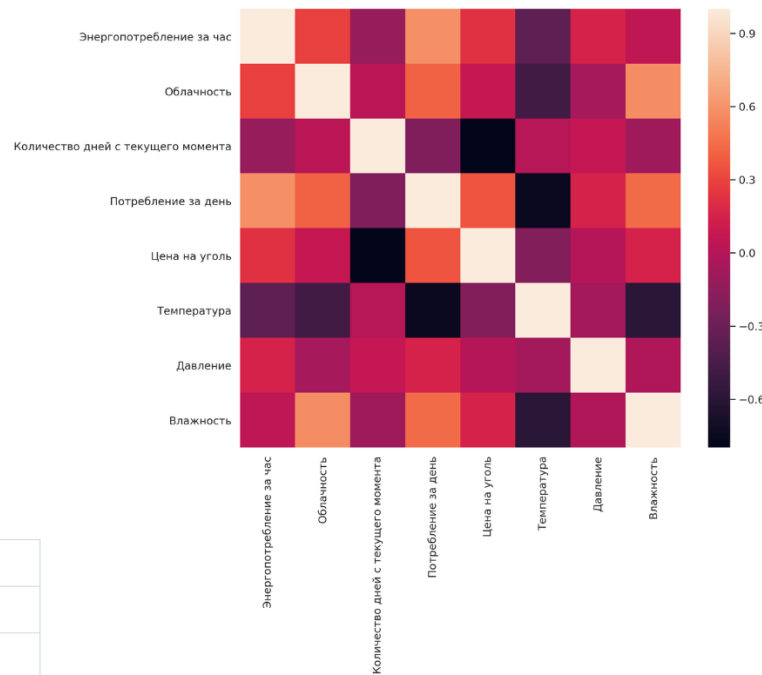
<https://minenergo.gov.ru/node/14934>

<https://minenergo.gov.ru/node/14931>

ПРИЛОЖЕНИЕ 3: Предсказывание параметров и режимов с помощью градиентного бустинга



Тепловая карты корреляции признаков



Сравнение моделей бустинга

Метрика	LightGBM	Catboost	XGBoost	Prophet	SARIMAX
r2	0.94137	0.93984	0.92909	0.81435	0.73778
MSLE	0.02468	0.02477	0.01219	0.00829	0.00658

R2 - коэффициент детерминации, показывающий, как сильно условная дисперсия модели отличается от дисперсии реальных значений)
RMSLE - Root Mean Squared Logarithmic Error, или среднеквадратичная логарифмическая ошибка

ПРИЛОЖЕНИЕ 5: Расчет экономической эффективности мероприятий

Экономическая эффективность мероприятий по программе энергосбережения, млн.руб.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Доходы	5,04	25,6	44,08	82,6	121,12	130	160	145	120	140	160
Расходы	52,13	59,99	47	50,6	53,81	97	54	81	108	100	100
-	-47,09	-34,39	-2,92	32	67,31	33	106	64	12	40	60
r	0,1169										
Дисконт											
Доход	4,51249	20,52161	31,63725	53,07902	69,68582	66,9665	73,79381	59,87612	44,36624	46,3431	47,42013
Расход	46,67383	48,0895	33,733	32,51572	30,95933	49,96731	24,90541	33,44804	39,92962	33,10222	29,63758
-	-47,09										
Накопленный доход	4,51249	25,0341	56,67135	109,7504	179,4362	246,4027	320,1965	380,0726	424,4389	470,782	518,2021
Накопленный расход	46,67383	94,76333	128,4963	161,0121	191,9714	241,9387	266,8441	300,2921	340,2218	373,324	402,9616

Экономическая эффективность мероприятий по программе "Энергоэффективная подстанция", млн.руб.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Доходы	198,4	389,9	424,53	471,4	516,8	530,53	580,4	445,4	415,4	390,4	330,4
Расходы	675	675	675	675	0	0	0	0	0	0	0
-	-476,6	-285,1	-250,47	-203,6	516,8	530,53	580,4	445,4	415,4	390,4	330,4
r	0,1169										
Дисконт											
Доход	177,6345	312,5537	304,6951	302,9231	297,3384	273,2903	267,6871	183,9229	153,5811	129,2311	97,92258
Расход	604,3513	541,0971	484,4633	433,7571	0	0	0	0	0	0	0
-	-476,6										
Накопленный доход	177,6345	490,1882	794,8834	1097,806	1395,145	1668,435	1936,122	2120,045	2273,626	2402,857	2500,78
Накопленный расход	604,3513	1145,448	1629,912	2063,669	2063,669	2063,669	2063,669	2063,669	2063,669	2063,669	2063,669