

Исследование качества электроэнергии в электрических системах с нелинейными нагрузками

Илья Тарасов

Выпускник кафедры ЭССиС
Института Энергетики ИРНИТУ

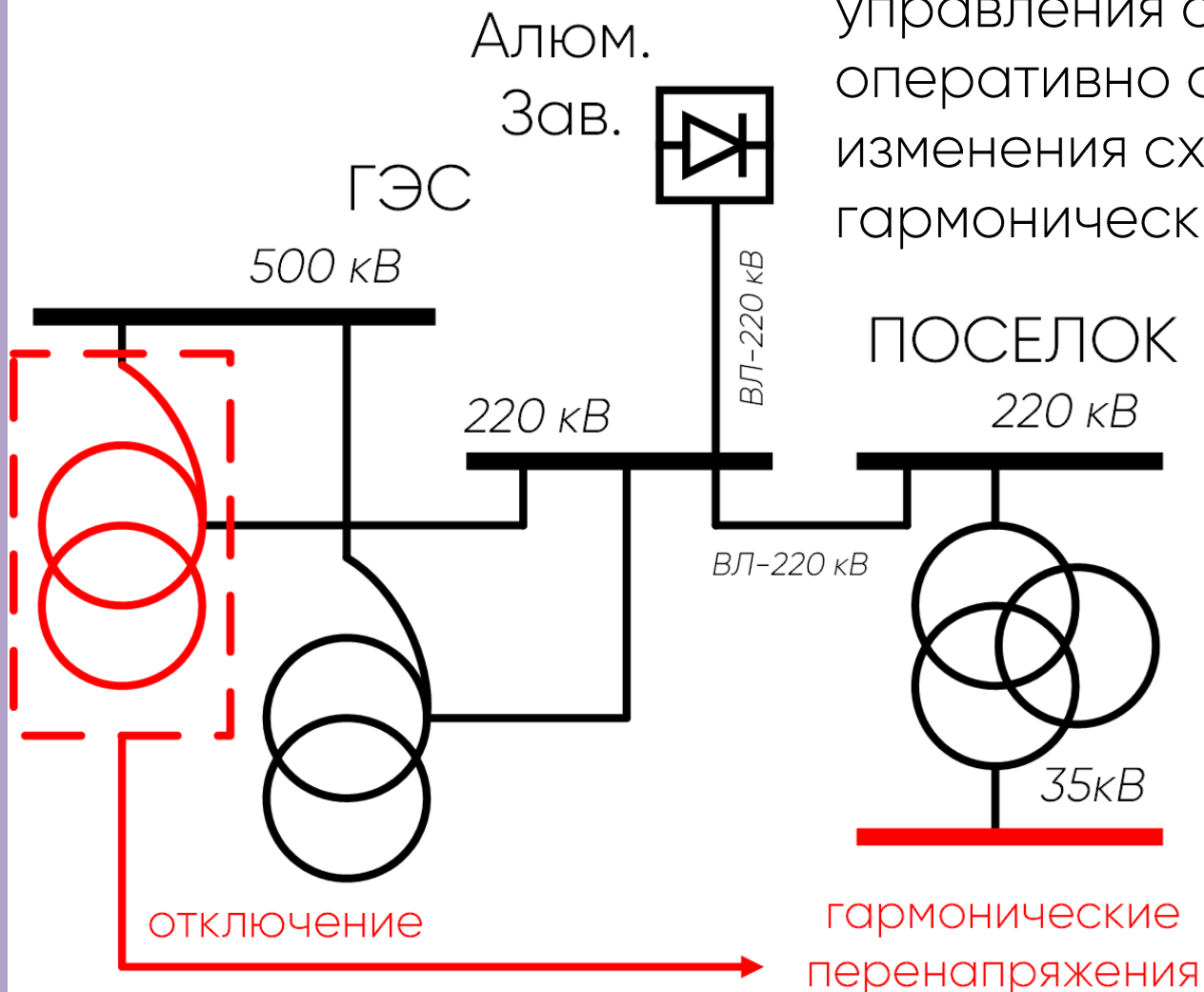
Руководитель:

Денис Сергеевич Федосов, к.т.н.

Доцент кафедры ЭССиС
Института Энергетики ИРНИТУ

ПРОБЛЕМА

Отсутствие в среде диспетчерского управления средств, позволяющих оперативно оценить последствия изменения схем на предмет гармонических перенапряжений



ПРИЧИНЫ

- Элементы с нелинейной ВАХ (токи ВГ)
- Резонансные связи в схеме

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Получение значений напряжений высших гармоник в узлах и токов высших гармоник, протекающих в элементах электрической сети

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Параметры схемы на промышленной частоте
- Измеренные значения инъекций токов высших гармоник

ОБЩЕЕ РЕШЕНИЕ

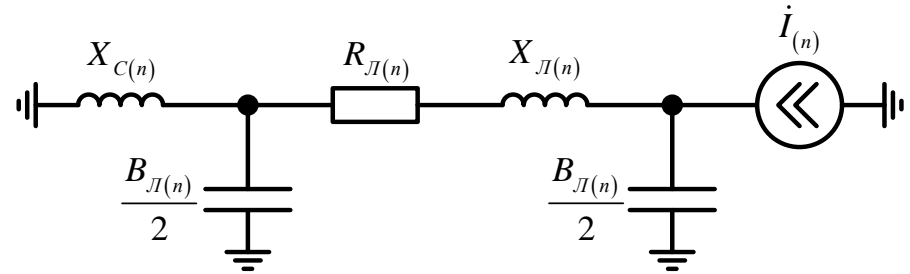
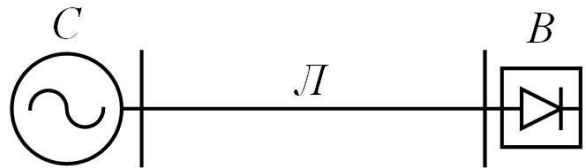


Схема питания нелинейной нагрузки (а) и её схема замещения для одной из гармоник с номером n (б)

$$X_c = 0$$

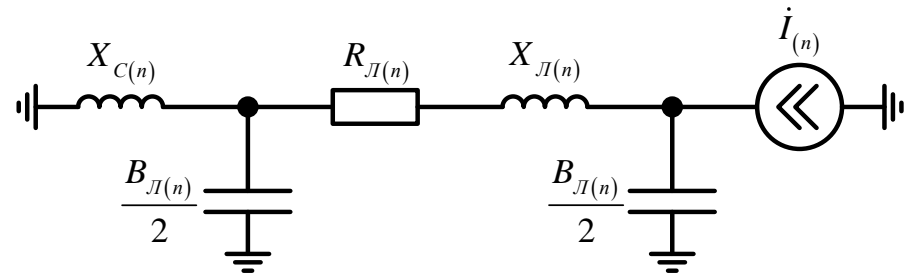
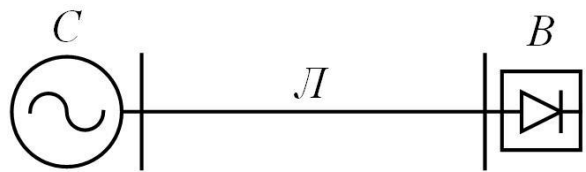
$$n_{\text{рез}} = \frac{-r_0^2 + \sqrt{r_0^4 + 8 \frac{x_0^3}{l^2 b_0}}}{2x_0^2}$$

$$l_{\text{рез.}} = \sqrt{\frac{2x_0}{nb_0(r_0^2 + nx_0^2)}}$$

$$X_c \neq 0$$

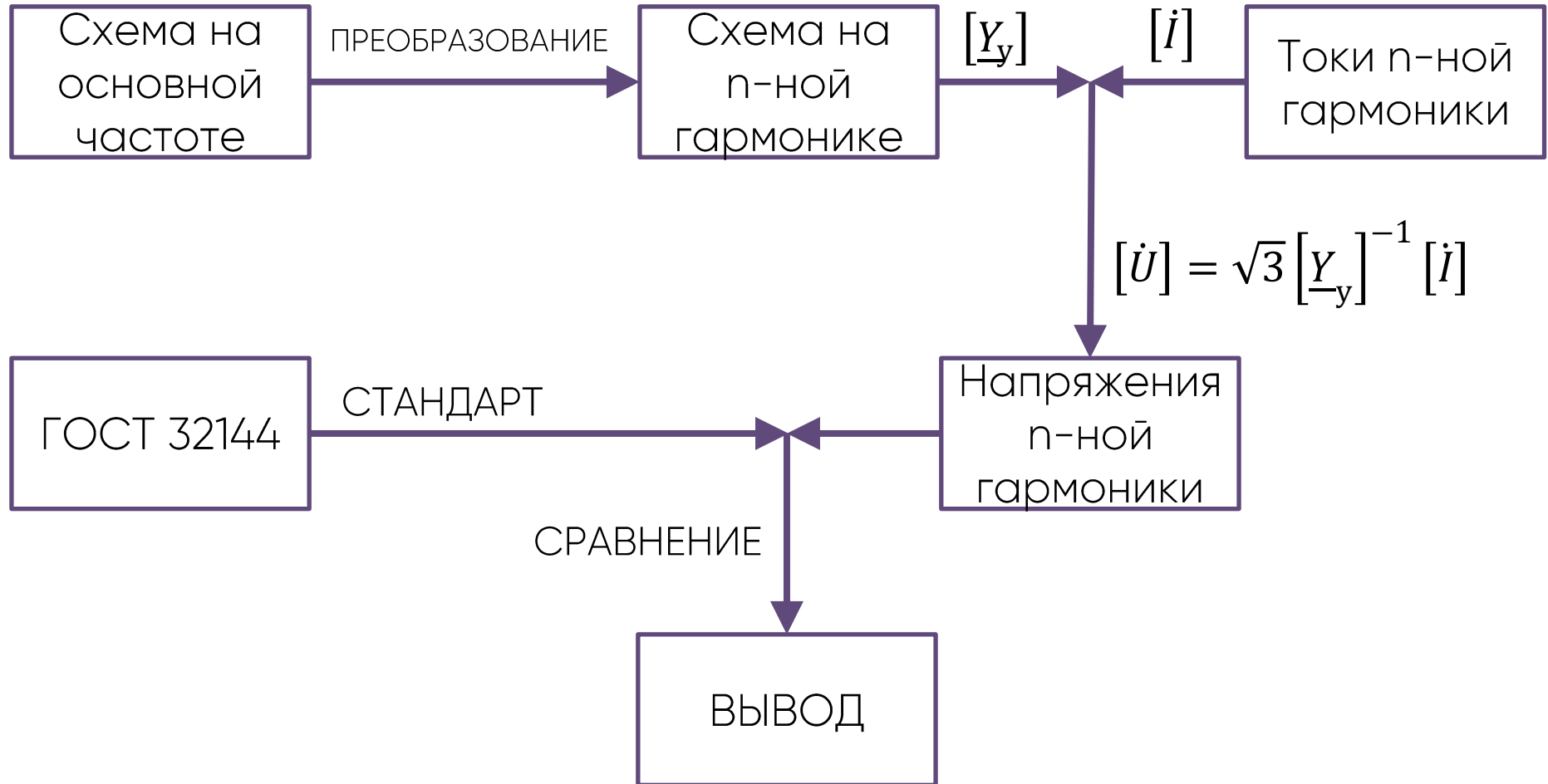
$$\underline{Z}_{\text{ЭКВ}(n)} = \frac{1}{j \frac{B_{Л(n)}}{2} + \frac{1}{R_{Л(n)} + jX_{Л(n)} + \frac{1}{j \frac{B_{Л(n)}}{2} + \frac{1}{jX_{C(n)}}}}$$

ОБЩЕЕ РЕШЕНИЕ



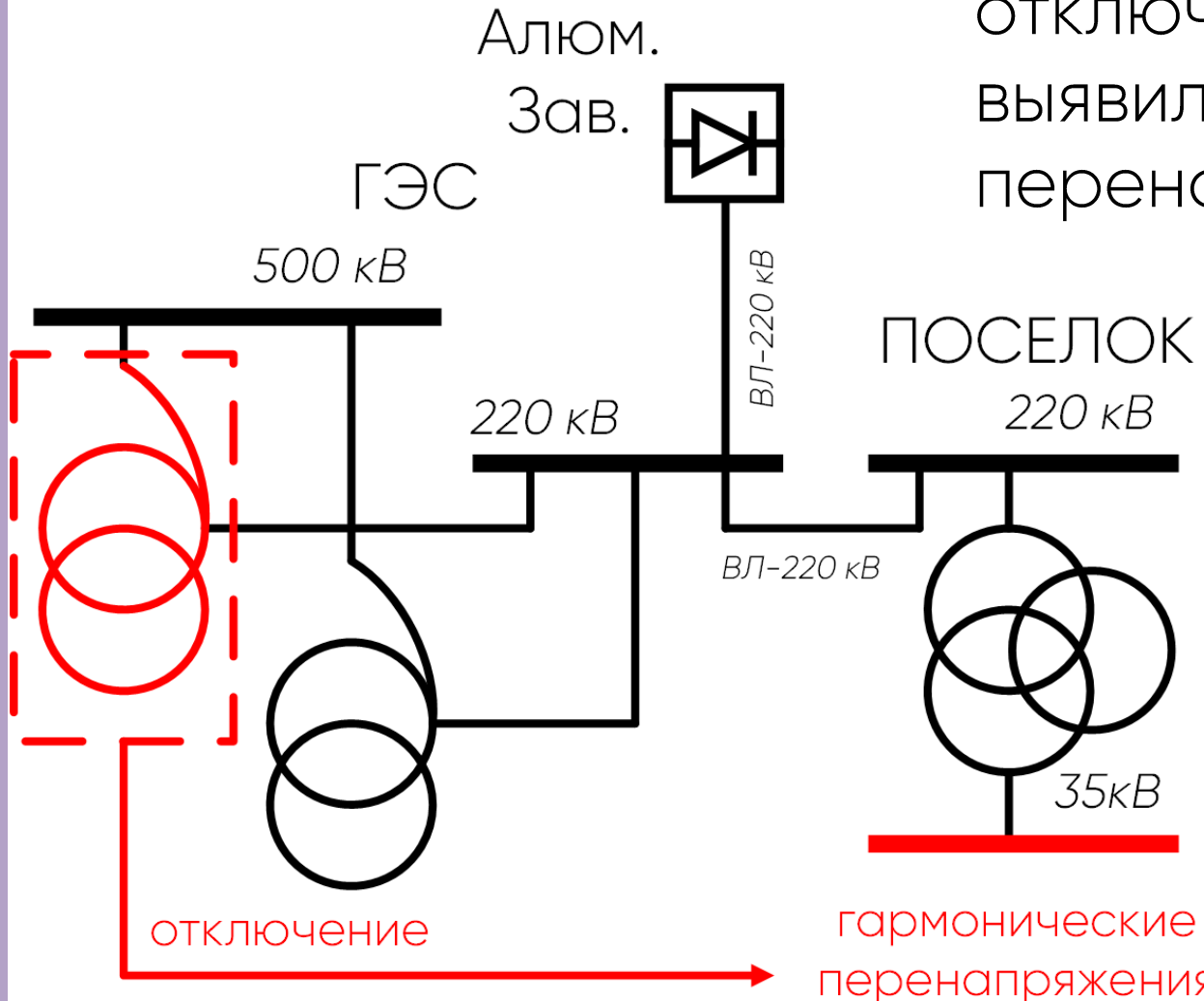
Длина линии Л, км	Номер резонансной гармоники при сопротивлении системы С для токов основной частоты, Ом				
	0	1	5	10	20
10	-	-	-	-	43
15	-	-	-	46	34
20	-	-	49	39	29
25	-	-	42	34	26
30	-	43	36	30	23
35	-	37	32	27	21
40	47	32	28	25	20
45	42	29	26	22	18
50	37	26	23	21	17, 43
55	34	24	22	19, 47	16, 40
60	31	22	20	18, 44	15, 37
65	29	20	19	17, 43	14, 35
70	27	19	17	16, 40	14, 33 5

ПРОГРАММА



ПРОГРАММА

После совершения отключения программа выявила гармонические перенапряжения



	Номер узла	Номер гармоники	U _n , кВ
1	2	11	1.978
2	2	13	1.148
3	2	35	1.656
4	2	37	0.489
5	7	11	2.725
6	7	13	1.835
7	7	23	6.224
8	7	25	2.217
9	7	35	2.425
10	7	37	0.459
11	9	11	1.498
12	9	13	1.435
13	9	23	6.254
14	9	25	2.130
15	9	35	2.716

СФЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

- Диспетчерское управление
- Проектирование

ФУНКЦИИ

- Предотвращение гармонических перенапряжений
- Отслеживание коэффициентов несинусоидальности без измерений

Спасибо за внимание!

Илья Тарасов

+79834037936

ilia.a.tarasov@yandex.ru

Денис Сергеевич Федосов

fedosov_ds@istu.edu

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

test_fin.xlsx - Microsoft Excel (Сбой активации продукта)

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик Надстройки Load Test Team

Вырезать Вставить Буфер обмена Копировать Формат по образцу Шрифт Calibri 11

Перенос текста Выравнивание Объединить и поместить в центре

Общий Число \$ % 000 0,00 0,00

Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили ячеек

Вставить Удалить Формат Ячейки

Автосумма Заполнить Очистить Сортировка и фильтр Найти и выделить Редактирование

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Номер узла начала связи	Номер узла конца связи	Активное сопротивление связи, Ом	Индуктивное сопротивление связи, Ом на 50 Гц	Ёмкостное сопротивление связи (продольная компенсация), Ом на 50 Гц	Активная проводимость связи, См на 50 Гц	Реактивная проводимость связи, См на 50 Гц	Номинальное напряжение в узле начала связи, кВ	Номинальное напряжение в узле конца связи, кВ	Состояние связи в узле начала (1 - вкл, 0 - откл)	Состояние связи в узле конца (1 - вкл, 0 - откл)	Тип элемента (1 - линия, 2 - трансформатор)
2	1	2	0,48	19,4	0	1,80E-06	0,000011214	500	220	1	1	2
3	1	3	1,04625	11,16	0	0,00E+00	0,000487832	500	500	1	1	1
4	1	4	3,63	38,72	0	0,00E+00	0,001692548	500	500	1	1	1
5	1	8	7,4588	79,2176	0	0,00E+00	0,000926949	500	500	1	1	1
6	3	5	3,17325	33,848	0	0,00E+00	0,001479581	500	500	1	1	1
7	3	8	7,424	78,848	0	0,00E+00	0,000922624	500	500	1	1	1
8	4	6	2,142	22,848	0	0,00E+00	0,000998743	500	500	1	1	1
9	3	6	101,937	95,759	0	0,00E+00	0,001226333	500	500	1	1	1
10	2	9	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
11	2	10	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
12	2	11	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
13	2	12	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
14	2	13	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
15	2	14	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
16	2	15	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
17	2	16	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
18	2	17	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
19	2	18	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
20	2	19	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
21	2	7	4,72	17,4	0	0,00E+00	0,00010416	220	220	1	1	1
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												

Связи Нагрузки Источники токов ВГ Источники напряжения ОГ

Готово 100%

Снимок внешнего вида страницы файла исходных данных

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Номер узла	Уном, кВ	Номер гармоники	U(n), кВ	Ku(n), %	Ku(n)нд, %	Вывод	Ku(n)sum, %	Вывод
1	500	11	0,119	0,024	0,2	Соответствует	0,026	Соответствует
		13	0,043	0,009	0,2	Соответствует		
		23	0,004	0,001	0,2	Соответствует		
		25	0,005	0,001	0,2	Соответствует		
		35	0,026	0,005	0,2	Соответствует		
		37	0,007	0,001	0,2	Соответствует		
2	220	11	3,809	1,692	0,2	Не соответствует	2,106	Не соответствует
		13	1,578	0,701	0,2	Не соответствует		
		23	0,217	0,096	0,2	Соответствует		
		25	0,344	0,153	0,2	Соответствует		
		35	2,228	0,99	0,2	Не соответствует		
		37	0,589	0,261	0,2	Не соответствует		
3	500	11	0,097	0,019	0,2	Соответствует	0,019	Соответствует
		13	0,019	0,004	0,2	Соответствует		
		23	0	0	0,2	Соответствует		
		25	0	0	0,2	Соответствует		
		35	0,001	0	0,2	Соответствует		
		37	0	0	0,2	Соответствует		
4	500	11	0,009	0,002	0,2	Соответствует	0,002	Соответствует
		13	0,003	0,001	0,2	Соответствует		
		23	0	0	0,2	Соответствует		
		25	0,001	0	0,2	Соответствует		
		35	0,003	0,001	0,2	Соответствует		
		37	0	0	0,2	Соответствует		
5	500	11	0,006	0,001	0,2	Соответствует	0,001	Соответствует
		13	0,001	0	0,2	Соответствует		
		23	0	0	0,2	Соответствует		
		25	0	0	0,2	Соответствует		
		35	0	0	0,2	Соответствует		
		37	0	0	0,2	Соответствует		

Снимок внешнего вида страницы файла выходных данных