

Фланец DN 100 PN 40
Расчет на прочность
1469.05053053.1469.002 РП

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Руководитель лаборатории

/ФИО/

Исполнитель

/ ФИО/

2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	3
2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА	4
2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА	5
4 РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ	10
5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	13

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Расчет на статическую прочность Фланца DN 100 PN 40 (далее - «изделие») выполнен на основании технических условий. Расчетный срок службы составляет 20 лет.

Расчет выполнен с применением следующих документов:

- ГОСТ Р 52857.1-2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования»;
- ТР ТС 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением».

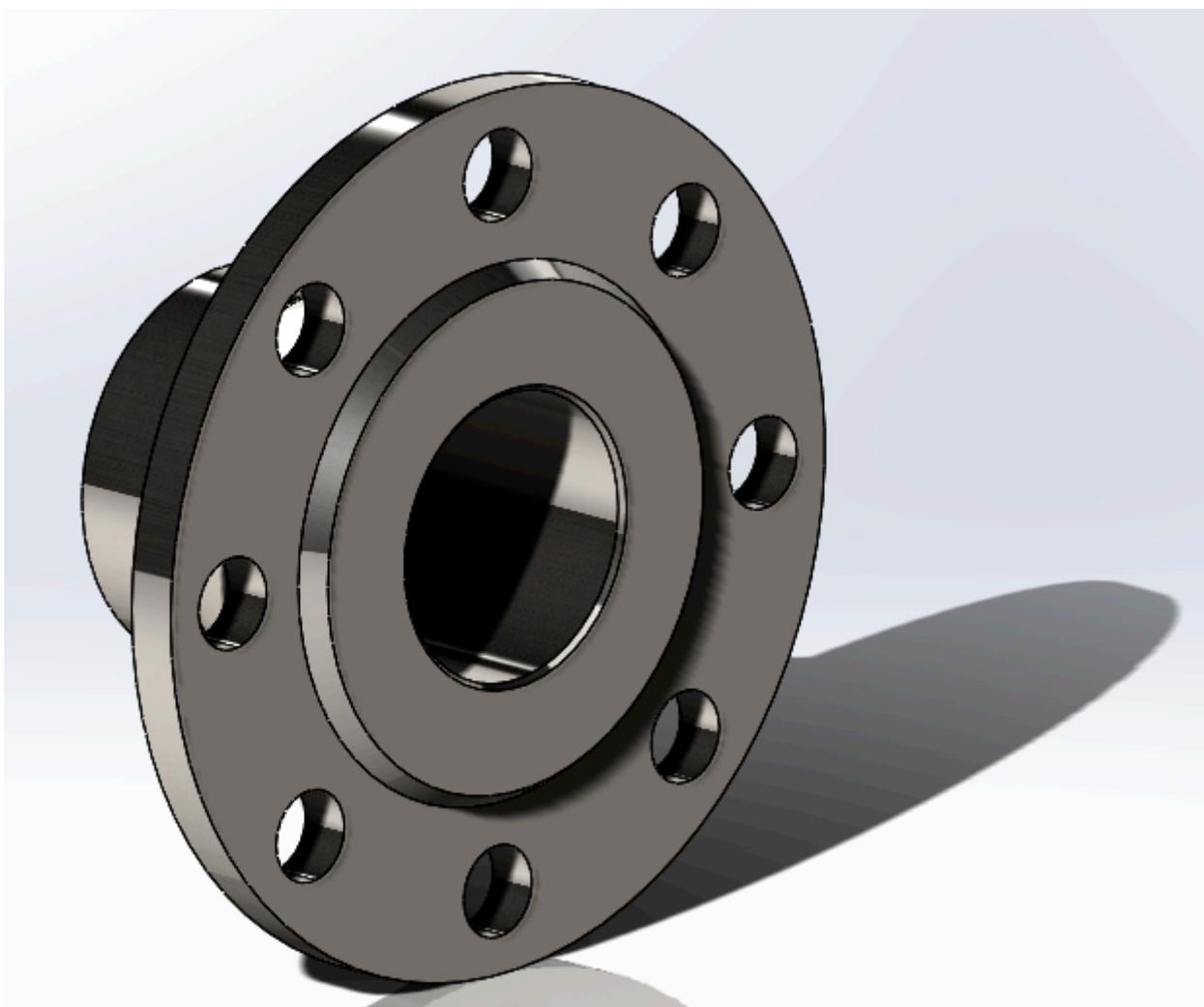


Рисунок 1 - Схематическое изображение изделия

Ине. № подл.	Подл. и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подл. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

1469.05053053.1469.002 РП

Лист

3

3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА

SolidWorks Simulation — универсальная программная система конечно элементного (МКЭ) анализа. Расчет на прочность конструкций (деталей и сборок) в упругой зоне.

Расчет, выполняемый программой SolidWorks Simulation, основан на классических инженерных представлениях и концепциях. При помощи численных методов эти концепции могут быть сформулированы в виде матричных уравнений, которые наиболее пригодны для конечно-элементных приложений.

Совокупность дискретных областей (элементов), связанных между собой в конечном числе точек (узлов), представляет собой математическую модель системы, поведение которой нужно анализировать. Основными неизвестными являются степени свободы узлов конечно-элементной модели. К степеням свободы относятся перемещения, повороты, температуры, давления, скорости, потенциалы электрических или магнитных полей; их конкретное содержание определяется типом элемента, который связан с данным узлом. В соответствии со степенями свободы для каждого элемента модели формируются матрицы масс, жесткости (или теплопроводности) и сопротивления (или удельной теплоемкости). Эти матрицы приводят к системам совместных уравнений, которые обрабатываются так называемыми “решателями”.

Для материалов с линейными свойствами напряжения связаны с деформациями соотношением:

$$\{\sigma\} = [D] \{\epsilon_{el}\}, \quad (1-1)$$

где $\{\sigma\} = [\sigma_x \sigma_y \sigma_z \sigma_{xy} \sigma_{yz} \sigma_{xz}]^T$ - вектор напряжений (как выходная величина помечается меткой S);

$[D]$ – матрица упругости (описывается уравнениями (1-18) ... (1-23), обратная матрица записывается в виде (1-4) и (1-5);

$$\{\epsilon_{el}\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon_{th}\} - \text{выходной массив};$$

$$\{\epsilon\} = [\epsilon_x \epsilon_y \epsilon_z \epsilon_{xy} \epsilon_{xz} \epsilon_{yz}]^T - \text{вектор полной (суммарной) деформации};$$

Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1469.05053053.1469.002 РП	Лист
						5

$\{\epsilon_{th}\}$ – вектор температурной деформации (определяется соотношением (1-3)).

Компоненты вектора напряжений показаны на Рисунке 2. Для используемых в программе SolidWorks Simulation напряжений и деформаций принято следующее правило знаков: величины, относящиеся к растяжению, являются положительными, к сжатию - отрицательными. Компоненты сдвига считаются положительными, если их направления совпадают с направлениями соответствующих координатных осей. Деформации сдвига представляют собой инженерные деформации, а не компоненты тензора.

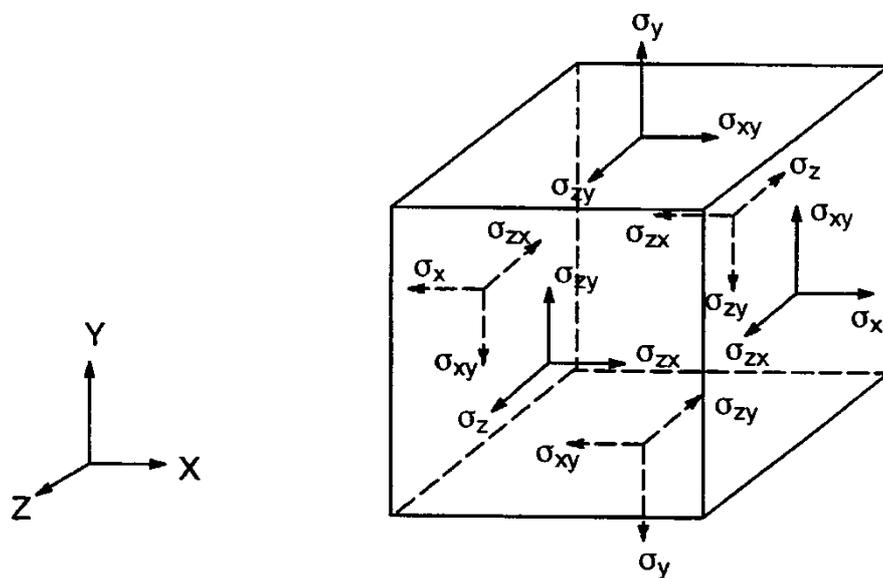


Рисунок 2 - Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1-1) может быть обращено следующим образом:

$$\{\epsilon\} = \{\epsilon_{th}\} + [D]^{-1} \{\sigma\}. \quad (1-2)$$

Для трехмерного случая вектор температурных деформаций определяется в виде соотношения

$$\{\epsilon_{th}\} = \Delta T [\alpha_x \alpha_y \alpha_z 0 0 0] T, \quad (1-3)$$

где α_x – коэффициент температурного расширения в направлении оси x,

Матрица $[D]^{-1}$, нормализованная по столбцам, имеет вид:

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Ине. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

$$\begin{aligned}
 [D]-1 &= \begin{pmatrix} 1/E_x & - & -v_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ & v_{xy}/E_y & & & & \\ & y & & & & \\ - & 1/E_y & -v_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ v_{yx}/E_x & & & & & \\ - & - & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ v_{zx}/E_x & v_{zy}/E_y & & & & \\ & y & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_z \end{pmatrix} \quad (1-4)
 \end{aligned}$$

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 [D]-1 &= \begin{pmatrix} 1/E_x & - & - & 0 & 0 & 0 \\ & v^*_{xy}/E_y & v^*_{xz}/E_z & & & \\ & y & z & & & \\ - & 1/E_y & - & 0 & 0 & 0 \\ v^*_{yx}/E_x & & v^*_{yz}/E_z & & & \\ x & & z & & & \\ - & - & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ v^*_{zx}/E_x & v^*_{zy}/E_y & & & & \\ x & y & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{zx} \end{pmatrix} \quad (1-5)
 \end{aligned}$$

Для записи элементов этих матриц используются обозначения:

E_x – модуль Юнга в направлении оси x ,

v_{xy} – минимальный коэффициент Пуассона,

v^*_{xy} – максимальный коэффициент Пуассона,

G_{xy} – модуль сдвига в плоскости x - y .

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

Матрица [D]-1 должна быть положительно определенной. Кроме того, эта матрица должна быть симметричной, поэтому для ортотропных материалов предполагается существование соотношений:

$$\nu_{yx} / E_x = \nu_{xy} / E_y$$

$$\nu_{zx} / E_x = \nu_{xz} / E_z$$

$$\nu_{zy} / E_y = \nu_{yz} / E_z$$

или

$$\nu^*_{yx} / E_y = \nu^*_{xy} / E_x$$

$$\nu^*_{zx} / E_z = \nu^*_{xz} / E_x$$

$$\nu^*_{zy} / E_z = \nu^*_{yz} / E_y$$

Согласно приводимым выше соотношениям, величины ν_{xy} , ν_{zy} , ν_{zx} , ν^*_{yx} , ν^*_{zy} и ν^*_{zx} являются зависимыми и поэтому не задаются при вводе исходных данных.

Из равенства (1-2) в развернутом виде, используя выражения (1-3), (1-4), а также (1-6) ... (1-8), получаем шесть уравнений:

$$\epsilon_x = \alpha_x \Delta T + \sigma_x / E_x - \nu_{xy} \sigma_y / E_y - \nu_{xz} \sigma_z / E_z \quad (1-12)$$

$$\epsilon_y = \alpha_y \Delta T + \sigma_y / E_y - \nu_{xy} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_z / E_z \quad (1-13)$$

$$\epsilon_z = \alpha_z \Delta T + \sigma_z / E_z - \nu_{xz} \sigma_x / E_x - \nu_{yz} \sigma_y / E_y \quad (1-14)$$

$$\epsilon_{xy} = \sigma_{xy} / G_{xy} \quad (1-15)$$

$$\epsilon_{yz} = \sigma_{yz} / G_{yz} \quad (1-16)$$

$$\epsilon_{xz} = \sigma_{xz} / G_{xz}, \quad (1-17)$$

где ϵ_x - деформация в направлении оси x,

ϵ_{xy} - деформация сдвига в плоскости x - y,

σ_x - напряжения в направлении оси x,

σ_{xy} - напряжения сдвига в плоскости x - y;

Компоненты с другими индексами получаются циклическим сдвигом (x - y - z).

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

1469.05053053.1469.002 РП

Лист

8

Уравнение (1-1) можно переписывается в развернутом виде, используя обратную матрицу (1-4), что вместе с уравнениями (1-3), (1-6) ... (1-8) дает шесть соотношений для напряжений:

$$\sigma_x = E_x/h [1 - (\nu_{yz})^2 E_y/E_z] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_x/h [\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{yz} E_y/E_z] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_x/h [\nu_{xz} + \nu_{yz}\nu_{xy}] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (1-18)$$

$$\sigma_y = E_x/h [\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{yz} E_y/E_z] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [1 - (\nu_{xz})^2 E_x/E_z] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_y/h [\nu_{yz} + \nu_{xz}\nu_{xy} E_x/E_y] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (1-19)$$

$$\sigma_z = E_x/h [\nu_{xz} + \nu_{yz}\nu_{xy}] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [\nu_{yz} + \nu_{xz}\nu_{xy} E_x/E_y] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_z/h [1 - (\nu_{xy})^2 E_x/E_y] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (1-20)$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \epsilon_{xy} \quad (1-21)$$

$$\sigma_{yz} = G_{yz} \epsilon_{yz} \quad (1-22)$$

$$\sigma_{xz} = G_{xz} \epsilon_{xz}, \quad (1-23)$$

в которых обозначено: $h = 1 - (\nu_{xy})^2 E_x/E_y - (\nu_{yz})^2 E_y/E_z - (\nu_{xz})^2 E_x/E_z - 2 \nu_{xy} \nu_{yz} \nu_{xz} E_x/E_z$.

Если модули сдвига G_{xy} , G_{yz} , G_{xz} не задаются при вводе, то их значения вычисляются следующим образом:

$$G_{xy} = (E_x E_y) / (E_x + E_y + 2 \nu_{xy} E_x) \quad (1-24)$$

$$G_{yz} = G_{xy} \quad (1-25)$$

$$G_{xz} = G_{xy} \quad (1-26)$$

Име. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

4 РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

4.1 Задачей расчета является определение следующих величин:

$(\sigma)_i$ – интенсивность действующих напряжений;

4.2 Условия прочности:

$(\sigma)_i \leq [\sigma]_m$; $(\sigma)_i \leq [\sigma]_{p0.2}$;

Номинальные допускаемые напряжения для корпусных деталей определены в соответствии с разделом 8 ГОСТ 52857.1 (пп. 8.1):

- рабочие условия: $[\sigma]_m = R_m/2.4$; $[\sigma]_{p0.2} = R_{p0.2}/1.5$;
- R_m – минимальное значение временного сопротивления;
- $R_{p0.2}$ – минимальное значение предела текучести.

Таблица 2. Характеристики используемых материалов с рабочими условиями

Наименование детали	Марка материала	Характеристики и напряжения, МПа	
		Корпус	Ст.20
$R_{p0.2}$, МПа	196		
$E \times 10^{-3}$, МПа	200		
$[\sigma]_m$, МПа	179.1		
$[\sigma]_{p0.2}$, МПа	130.6		

4.3 Распределение интенсивности напряжений в изделии при действии расчётных нагрузок приведено на рисунке 2.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Ине. № дубл.
Подп. и дата	

Расчет изделия на статическую прочность приведен в таблице 3.

Таблица 3. Расчет изделия на статическую прочность

Исходные данные	
Режим	р/с №1
Расчетное давление Р, МПа	4
Результаты расчета	
Приведенное напряжение (σ) ₁ , Мпа	
Действующее напряжение	165
Допускаемое напряжение, [σ] _{p0.2} ; МПа	179.1
Условие прочности	выполнено
Допускаемое напряжение, [σ] _m ; МПа	130.6
Условие прочности	выполнено

Инв. № подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

1469.05053053.1469.002 РП

Лист

11

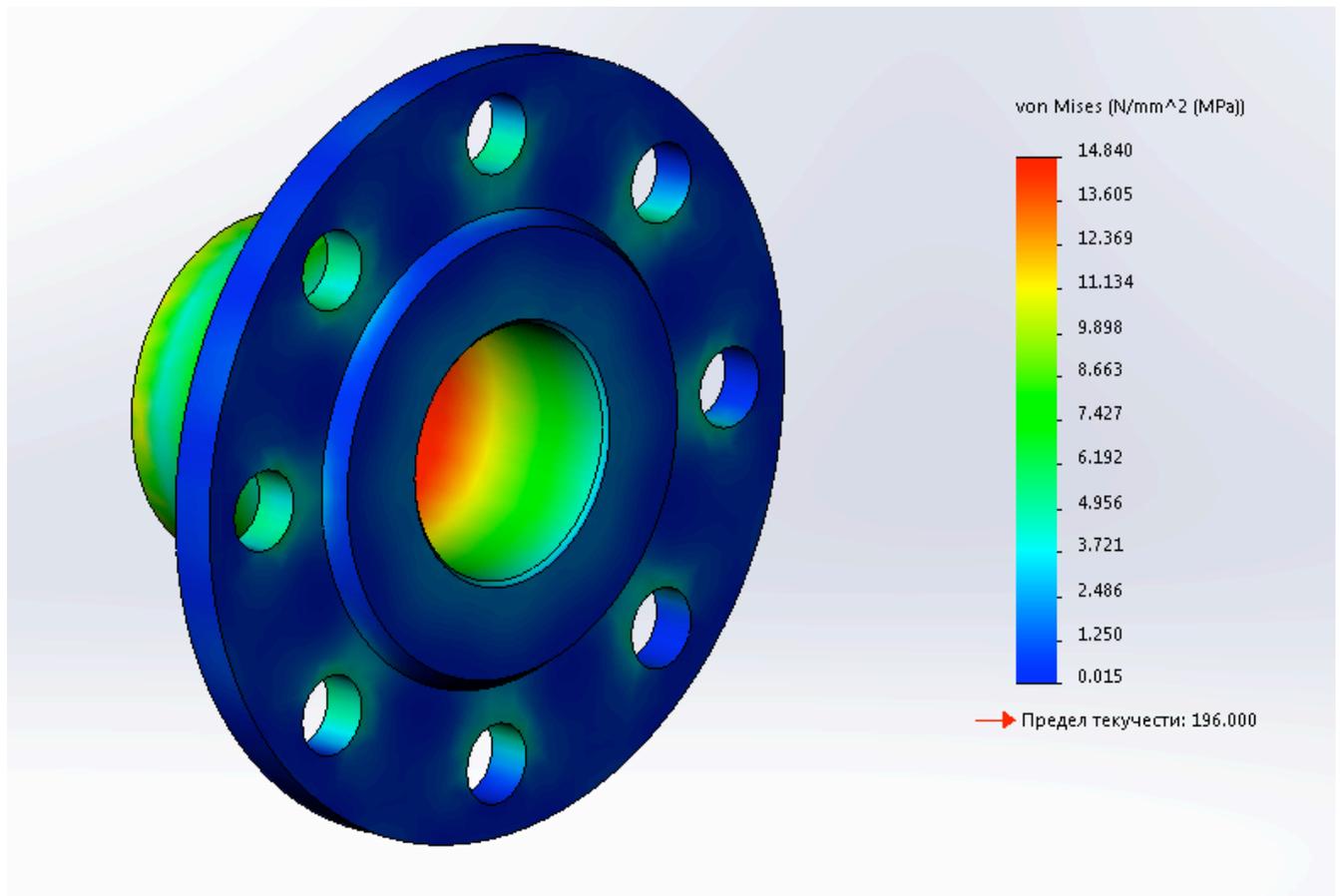


Рисунок 3 - эквивалентные напряжения (МПа)

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
1469.05053053.1469.002 РП				Лист
				12

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен расчёт на статическую прочность изделия на условия эксплуатации, приведённые в разделе 2.

Оценка прочности выполнена для следующего расчётного состояния (р/с):

— р/с №1: при $P_p = 4$ Мпа.

Расчётные напряжения в элементах изделия определены по номинальной толщине стенки, уменьшенной на величину производственной и эксплуатационной прибавок.

Оценка прочности выполнена для корпуса изделия.

По результатам расчёта:

— статическая прочность изделия в режиме нормальной эксплуатации обеспечена.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	1469.05053053.1469.002 РП	Лист
						13
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		