



Технический отчёт 2

«Технические решения по равномерному распределению пылевоздушного потока по трубам охладителя пыли, защита аппарата от абразивного износа, переходные трубы между секциями охладителя угольной пыли, решения по очистке аппарата от отложений и активации угольной пыли для обеспечения надёжной работы установки и/или после аварийной остановки»

Dr.-Ing. Wladimir Garber

Сентябрь 2013



Цели работы на этапе 2:

2.1.2. Разработать технические решения по равномерному распределению пылевоздушного потока по трубам охладителя угольной пыли, защиту аппарата от абразивного износа, переходные трубы между секциями охладителя угольной пыли, решения по очистке аппарата от отложений и активации отложений угольной пыли для обеспечения надежной работы установки и/или после аварийной остановки.

По окончании выполнения данного этапа работ выдаются технический отчет, чертежи входного (раздающего пылевоздушную среду) узла охладителя с указанием всех геометрических размеров и данных по сопротивлению этих узлов, двух вариантов рассекателя/активатора для обеспечения равномерной раздачи пылевоздушного потока по трубам охладителя и/или предотвращения отложений пыли и техническое задание на моделирование.

Содержание отчёта:

1. Условия для которых разработаны технические решения
2. Технические решения по равномерному распределению пылевоздушного потока по трубам охладителя угольной пыли
3. Защита аппарата от абразивного износа
 - 3.1. Защита трубной плиты
 - 3.2. Защита переходов между секциями
4. Переходные трубы между секциями охладителя
5. Решения по очистке аппарата от отложений и активации отложений угольной пыли для обеспечения надёжной работы установки и/или после аварийной остановки

Приложения:

- Приложение 1. Чертёж верхнего перехода между секциями с ударным стаканом
- Приложение 2. Чертёж верхнего перехода между секциями с ударным стаканом пониженного сопротивления
- Приложение 3. Переходы между секциями холодильника угольной пыли.
 - Приложение 3.1. Переброска потока снизу вверх
- Приложение 4. Потери давления при переброске потоков снизу вверх между секциями по результатам моделирования
- Приложение 5. Потери давления в переходах между секциями по результатам моделирования, отдельно для участков переходов
- Приложение 6. Сравнение результатов моделирования с результатами расчётов ЗиОКОТЕС
- Приложение 7. Техническое задание на продолжение работ и моделирование



1. Условия для которых разработаны технические решения

Приведённые в отчёте решения по равномерному распределению угольной пыли разработаны для следующих условий:

А) Принят Вариант 2 холодильника, установленного в отдельной линии пневмотранспорта с подачей материала от рукавного фильтра через шнек, через шлюзовой питатель в загрузочный малый бункер, далее с использованием отдельного компрессора через инжектор в трубный холодильник и выгрузкой в промежуточный бункер $V=12 \text{ м}^3$ с очисткой воздуха в рукавном фильтре, установленном на промежуточном бункера.

Tabelle 1: Два варианта холодильника:

1. встроенный в общий пневмотранспорт , 2. отдельная линия пневмотранспорта

№	Parameter	Measurement unit	Option 1	Option 2
1	Cooler evaluated mass	kg	30925	36201
21	Cooling air flow	nm^3/h	143176	143176
22	Pressure difference for the cooling air pipe	Pa	5860	6540
23	Cooling air temperature at the heat exchanger inlet/outlet	$^{\circ}\text{C}$	26.045.1	26.045.9
3.1	Dust flow	tph	50	50
3.2	Conveying air flow	kg/h	4167	4167
3.3	Air- and dust mixture pressure at the inlet to the cooler	Pa	380065	209245
34	Air- and dust mixture pressure at the cooler outlet	Pa	200000	103000
35	Pressure difference for the air and dust mixture pipe	Bar	1.80	1.06
36	Air- and dust mixture temperature at the heat exchanger inlet/outlet	$^{\circ}\text{C}$	100.250.0	102.350.0

*- without a spreader resistance/impeller at the entrance to pipe bundles
 - for gangways' radii 3d

Критерием выбора варианта 2 оказались трудности при подпоре камерного питателя для загрузки 50 т/час угольной пыли в систему пневмотранспорта при противодавлении более 1,5 бар.

Выбор варианта загрузки с камерным питателем базировался на аналоге – питателе для основной системы пневмотранспорта. Из-за необходимости быстро заказать оборудование, чтобы уложиться в сроки поставки, иное оборудование для загрузки угольной пыли в систему пневмотранспорта не рассматривалось.

Альтернативой может являться загрузка с использованием пары бункерных питателей, работающих под давлением и подключаемых попеременно. В такой системе нет ограничений по противодавлению, соответственно возможно было бы встроить холодильник в общий пневмотранспорт угольной пыли.

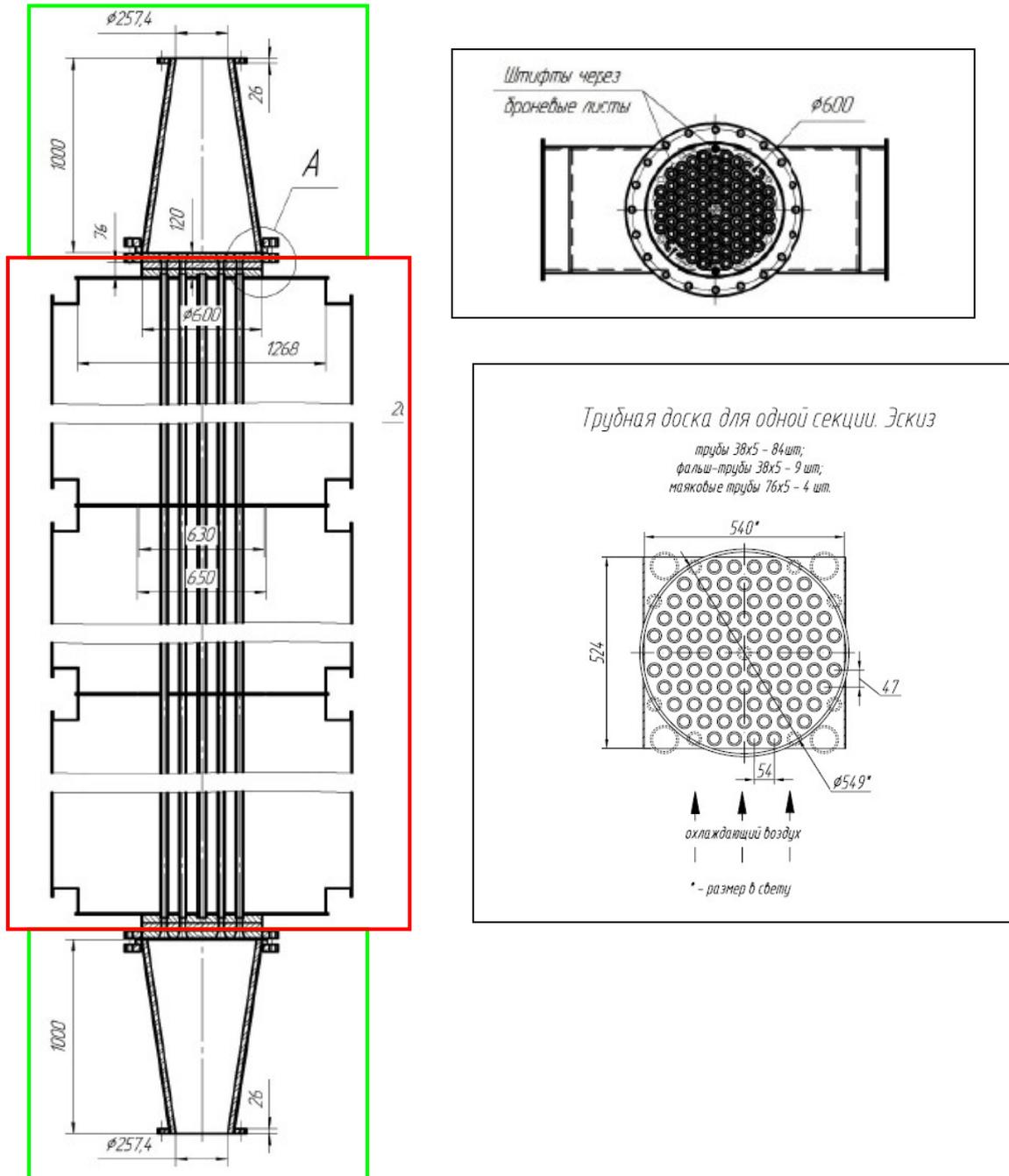


Рис 1. Одиночная секция холодильника (слева)

Рис 2. Трубная доска одной секции (справа)



Б) Принята схема с переборской потоков между секциями снизу вверх.

Такая схема принята для первой установки для в связи с отсутствием опыта подачи материала снизу вверх в трубный пучок.

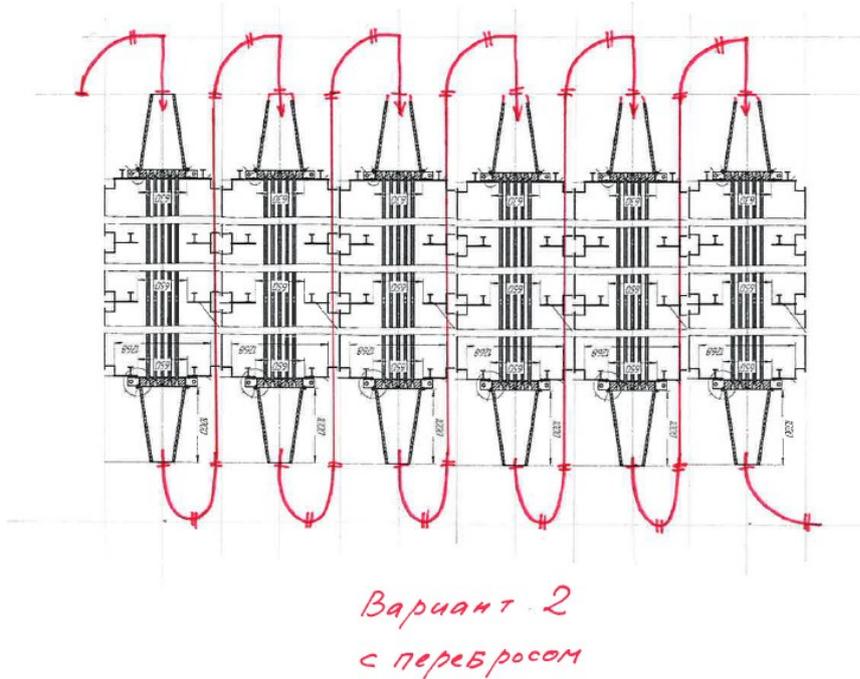


Рис 3. Холодильник угольной пыли из шести одинарных секций с переборской потоков снизу-вверх

Указанные условия А) и Б) зафиксированы в измененном техническом задании.

2. Технические решения по равномерному распределению пылевоздушного потока по трубам охладителя угольной пыли

2.1. Гнутый отвод

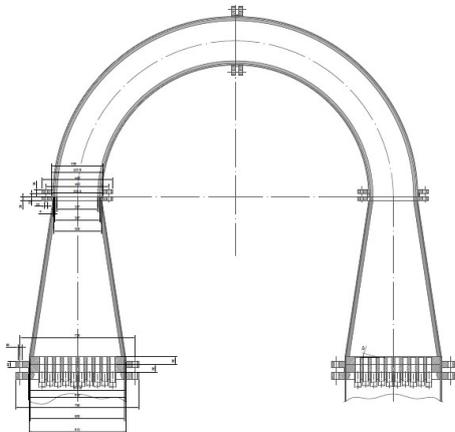


Рис 4. Переход между секциями гнутый поворот 2 x 90 град.

Была разработана конструкция перехода и конструкция защиты против абразивного износа для такого трубного перехода. Показанная конструкция поставляется как готовое изделие совместно с конусом или отдельно от конуса.

Ниже приведены результаты численного моделирования потоков в таком переходе.

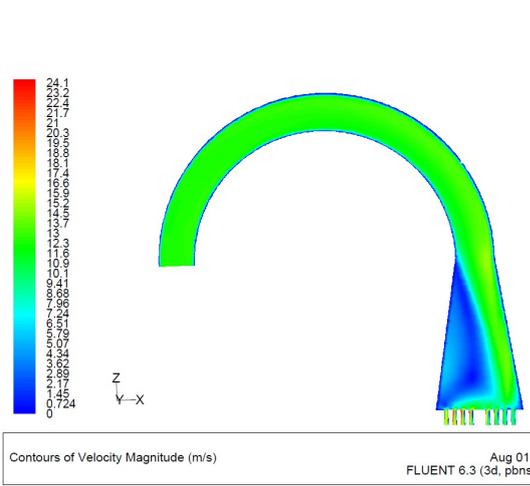


Рис 5. Скорость газов

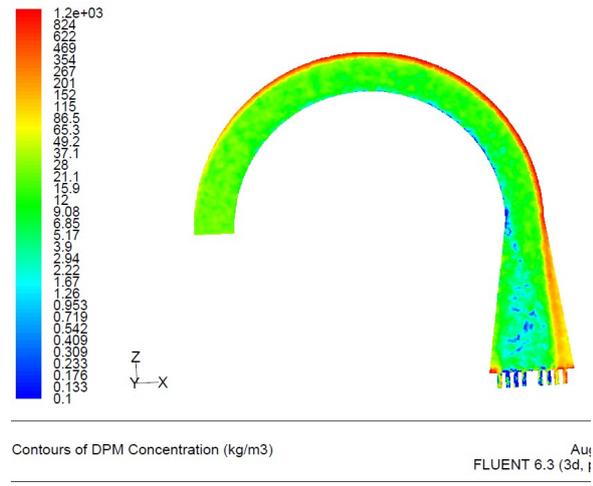


Рис 6. Концентрация твёрдой фазы

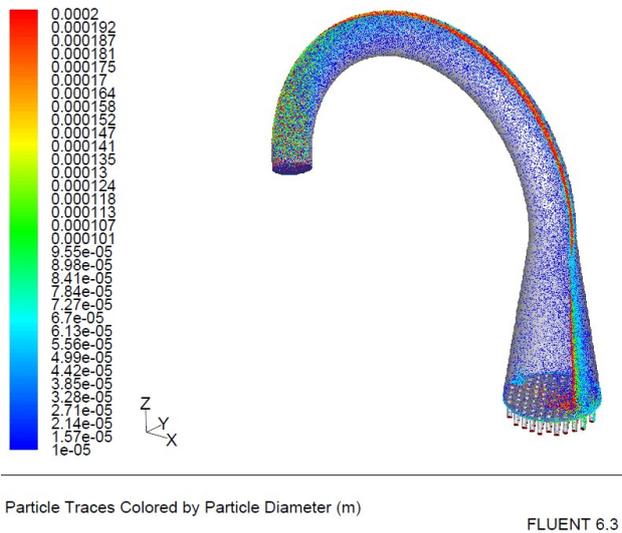


Рис 7. Пути движения частиц в зависимости от их размеров.

Результаты моделирования показывают невозможность использования перехода Гнутый поворот 2 x 90 град по причине резкой неравномерности потоков и концентраций твёрдой фазы на входе в трубный пучок.

Рассматривались, конструктивно и при сопутствующем моделировании также иные варианты :

2.2. Гнутый поворот 2 x 90 град с поперечным потоком сжатого воздуха 270 м³/h

При моделировании этого отвода с потоком отклоняющего воздуха получены удовлетворительные результаты.

Предложный способ обеспечения равномерного распределения угольной пыли перед трубной доской не был принят в первой разрабатываемой установке по причине необходимости введения дополнительного воздуха в систему.

2.3. Обсуждались также возможности замены сжатого воздуха короткой наклонной плитой или решёткой, устанавливаемой в том же месте, где подводим воздух.

В принципе это возможный вариант, легко решаемый конструктивно.

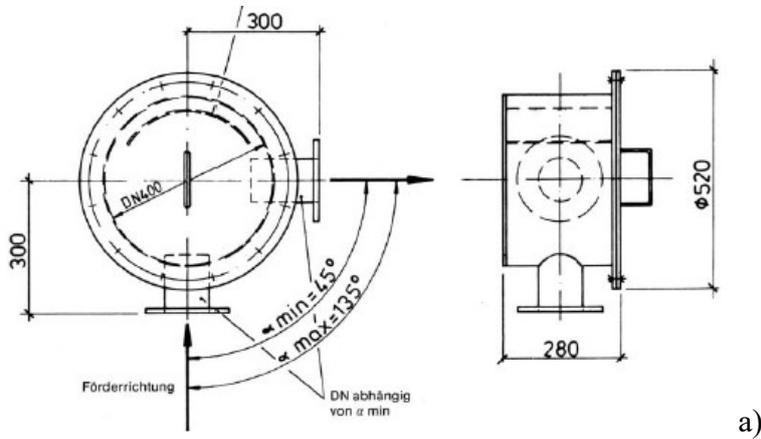
В отличие от воздуха (полупроницаемой мягкой среды) плита может вызвать отражение потока твёрдых частиц от противоположной стенки конуса и последующую неравномерность распределения.

Двухслойная решётка из прутьев предпочтительнее, по моему мнению.



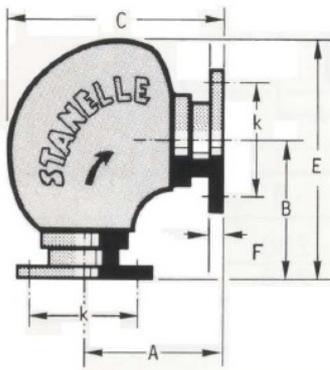
Основой решения для равномерного распределения угольной пыли по трубному пучку является гашение тангенциального импульса возникающего на повороте между секциями.

Для получения более надёжного результата были выбраны решения, базирующиеся на распространённым в промышленности устройствах поворотов на линиях пневмотранспорта.



a)

90° F/F



б)



с)



д)

Рис 8: а), б), с), д) Повороты на линиях пневмотранспорта.
 2.4. Переход с использованием ударного стакана сверху.



Принцип конструкции ударного стакана: сочетание удара о перпендикулярную плиту с расширением и последующим сужением. Ниже показана конструкция, на основе которой выполнялось моделирование.

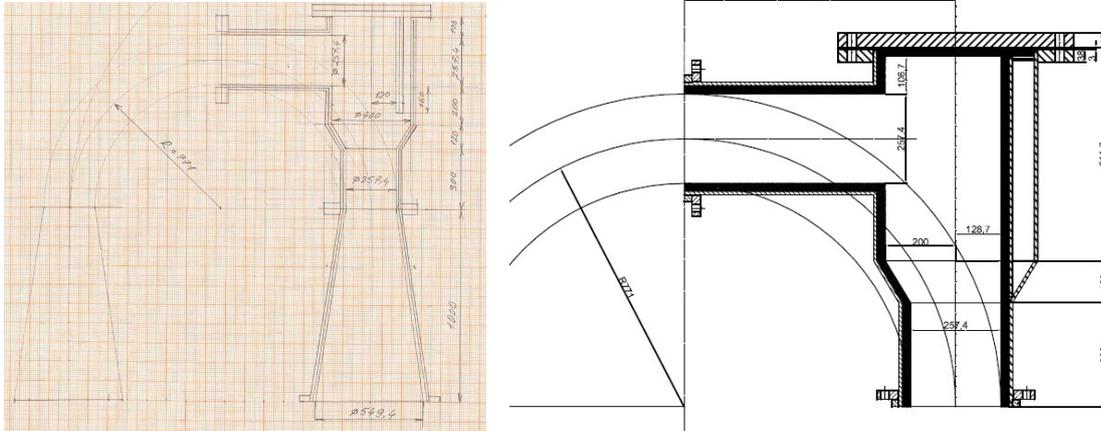


Рис 9. Переход с ударным стаканом

Результаты моделирования приведены ниже.

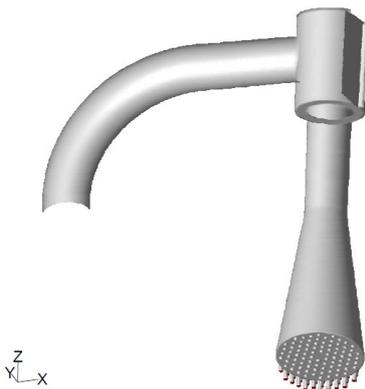


Рис 10. Геометрия модели перехода

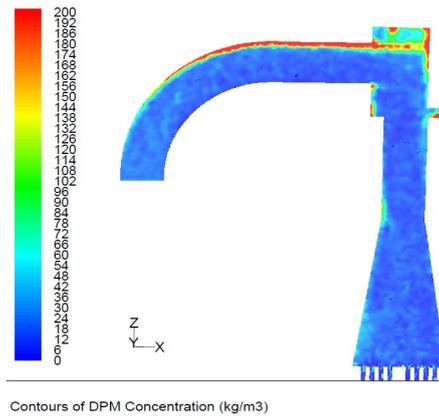


Рис 11. Концентрация твердого в потоке

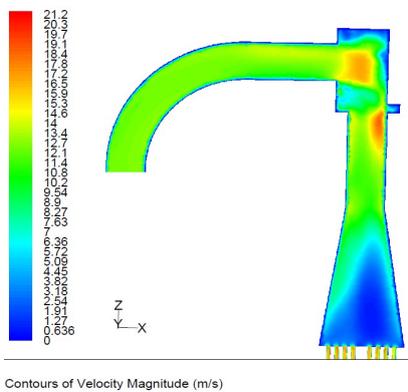


Рис 12. Скорости газов

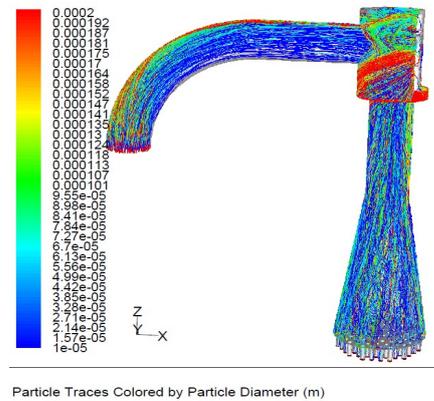
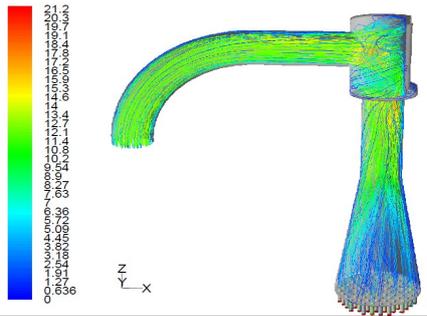
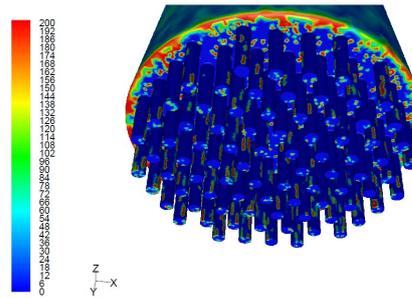


Рис 13. Пути движения частиц



Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s)

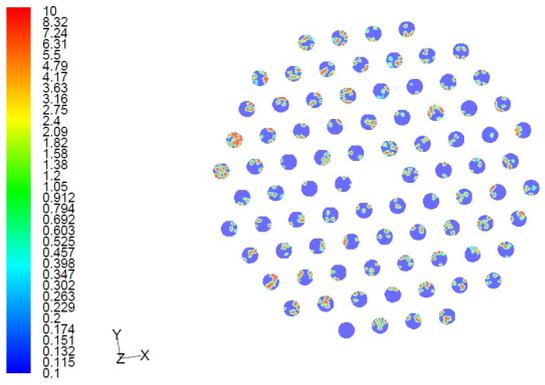
Рис 14. Скорости частиц



Contours of DPM Concentration (kg/m3)

Aug 07, FLUENT 6.3 (3d, plots)

Рис 15. Концентрации твердого в трубках



Contours of DPM Concentration (kg/m3)

Aug FLUENT 6.3 (3d, p

Рис 16. Концентрации твердого в трубках - поперечное сечение

Результат моделирования ударного стакана удовлетворительный.

Ударный стакан принят как конструкция для верхних переходов между секциями.

Чертежи двух вариантов стакана приведены в приложении 1.

Чертежи передаются в замещении чертежей раскателей потока, от которых по результатам моделирования отказались в процессе проведения работ.

В приложении 2 приведены данные по потерям давления в переходах между секциями.

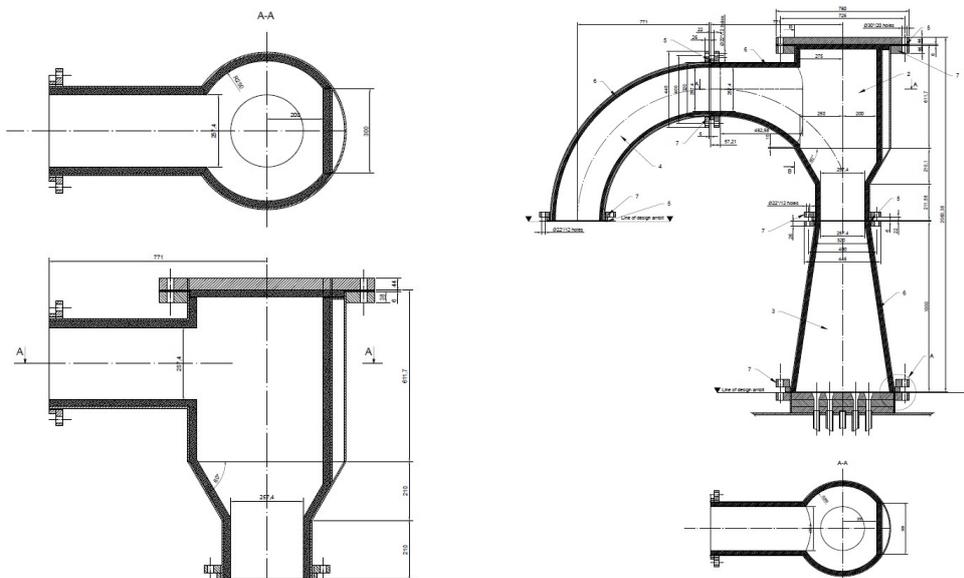


Рис 17. Два варианта ударного стакана

3. Защита аппарата от абразивного износа



Защита аппарата от абразивного износа разделена на блоки:
 - защита трубной плиты,
 - защита переходов между секциями.

3.1. Защита трубной плиты.

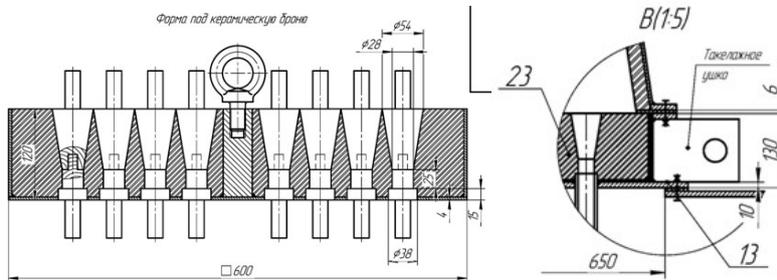


Рис 18. Вариант 1 (слева) литой защитной плиты для трубной доски,
 Соединение трубной доски и конуса (справа)

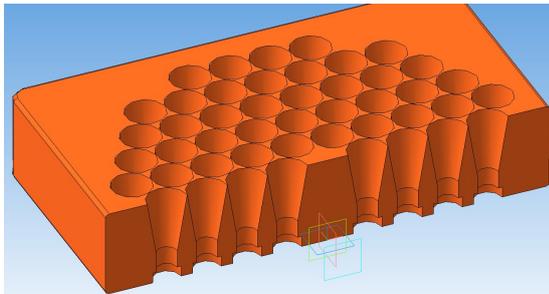
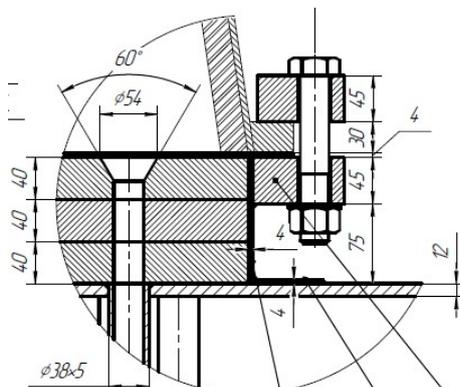


Рис 19. Выполнение литой защитной плиты по варианту 1
 Причиной отказа от варианта 1 является технологическая невозможность отлить цельную защитную плиту с точно заданными отверстиями, а также хрупкость тонких верхних кромок такой абразивной защиты.



После отработки нескольких идей был принят вариант 2 показанный слева, вошедший в конструкцию трубной секции.

Рис 20. Вариант 2 – выполнение защитной плиты из трёх стальных плит, высверливаемых в одном пакете с трубной доской для обеспечения соосности отверстий в плитах и трубного пакета.

Ниже показаны решения для трубной доски при входе потока (слева) и выходе потока (справа - без защиты).

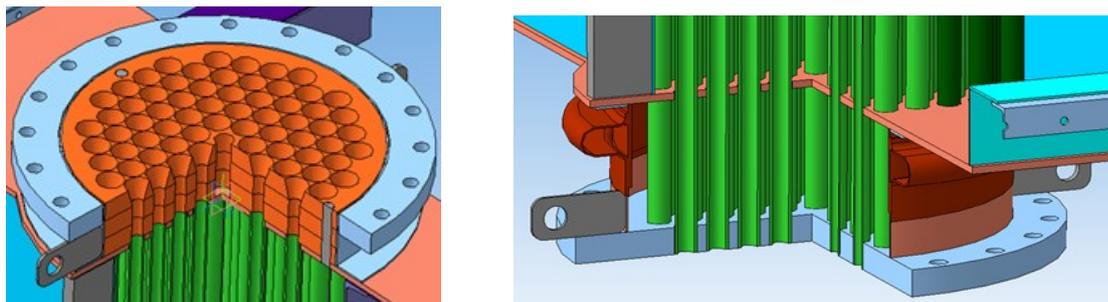


Рис 21. Верхняя и нижняя (с компенсатором) трубные доски холодильника.

3.2. Защита переходов между секциями.

Защита переходов между секциями разрабатывалась совместно с конструкцией переходов. Материал защиты – каменное литьё устанавливаемое на связке с металлом.

Поставляется готовые изделия в сборе см. чертежи в Приложении 1/ 2/ 3.1

Выполнение против- абразивной защиты на месте монтажа не предусмотрено. Вертикальные прямые участки труб пневмотранспорта предлагаем выполнить без защиты.

4. Переходные трубы между секциями охладителя

Переходные трубы для переброски потоков снизу вверх между секциями показаны в Приложениях 3 / 3.1.

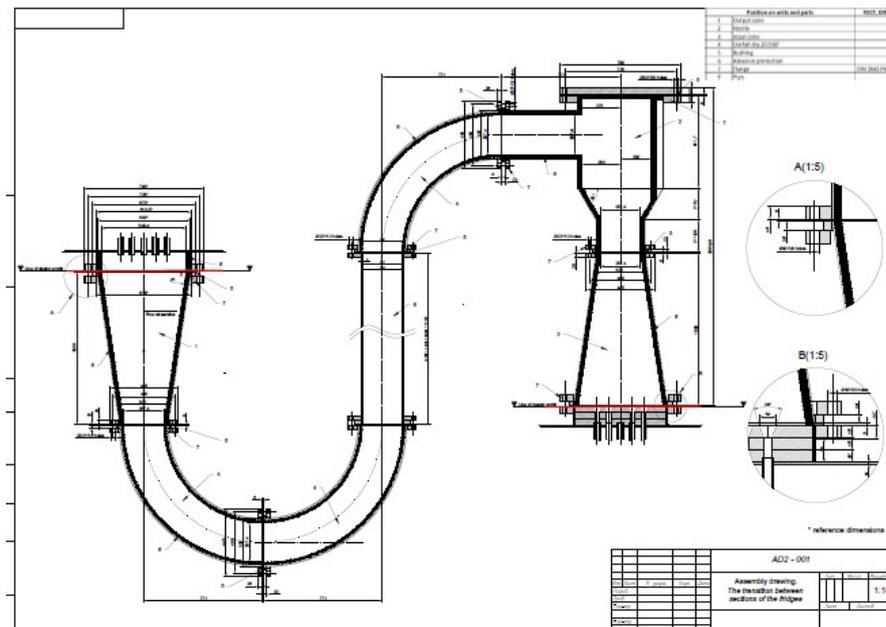


Рис 22. Переброска потока между секциями



5. Решения по очистке аппарата от отложений и активации отложений угольной пыли для обеспечения надёжной работы установки и/или после аварийной остановки

Входят в состав конструкции гнутых отводов 2х 90 градусов в нижней части переходов между секциями. По согласованию с изготовителем возможен вариант тангенциальной подачи сжатого воздуха. Источником сжатого воздуха является компрессор транспортного сжатого воздуха, избыточное давление 2 бар. Активация возможных отложений выполняется при старте установки при одновременной продувке без подачи угольной пыли.

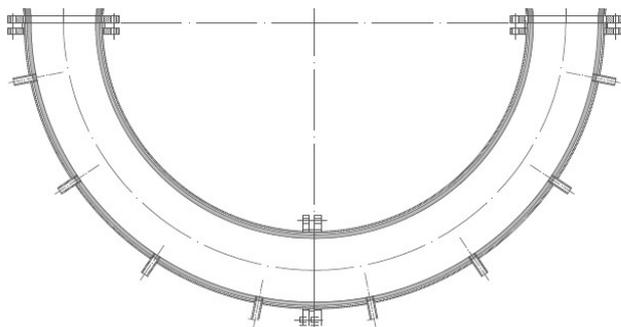
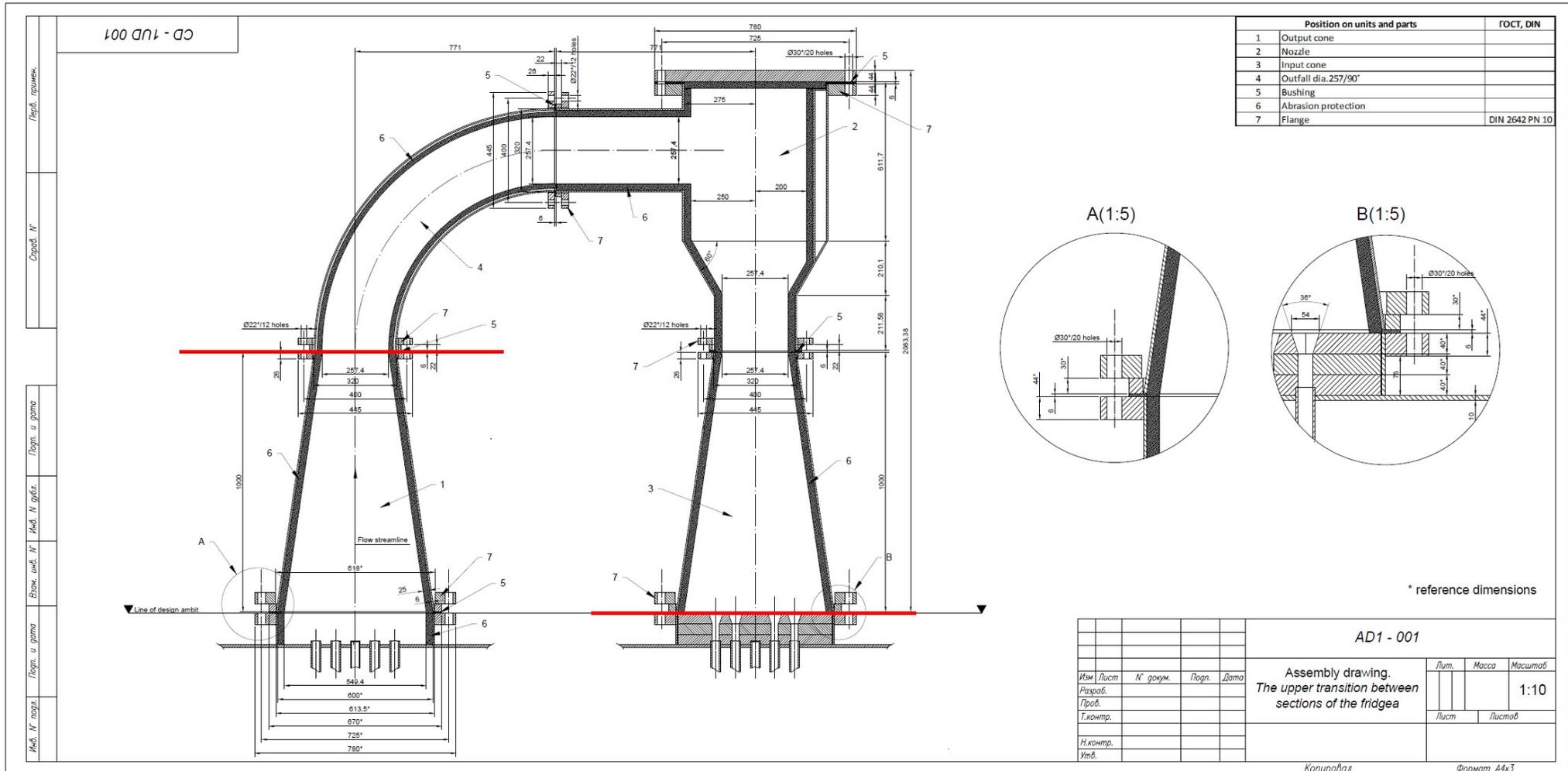


Рис 23. Активация отложений угольной пыли в переходах

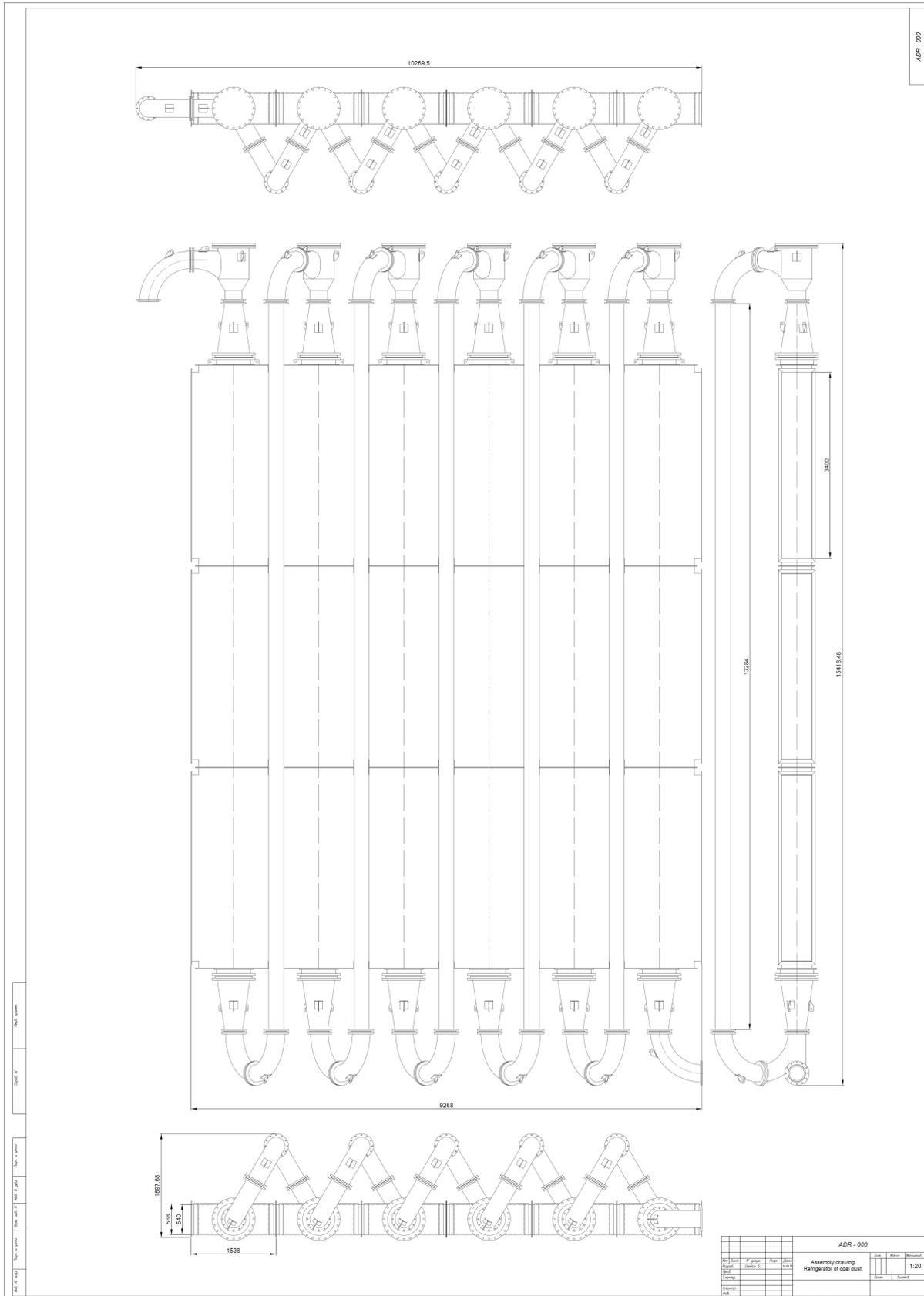


Приложение 1. Чертёж верхнего перехода между секциями с ударным стаканом



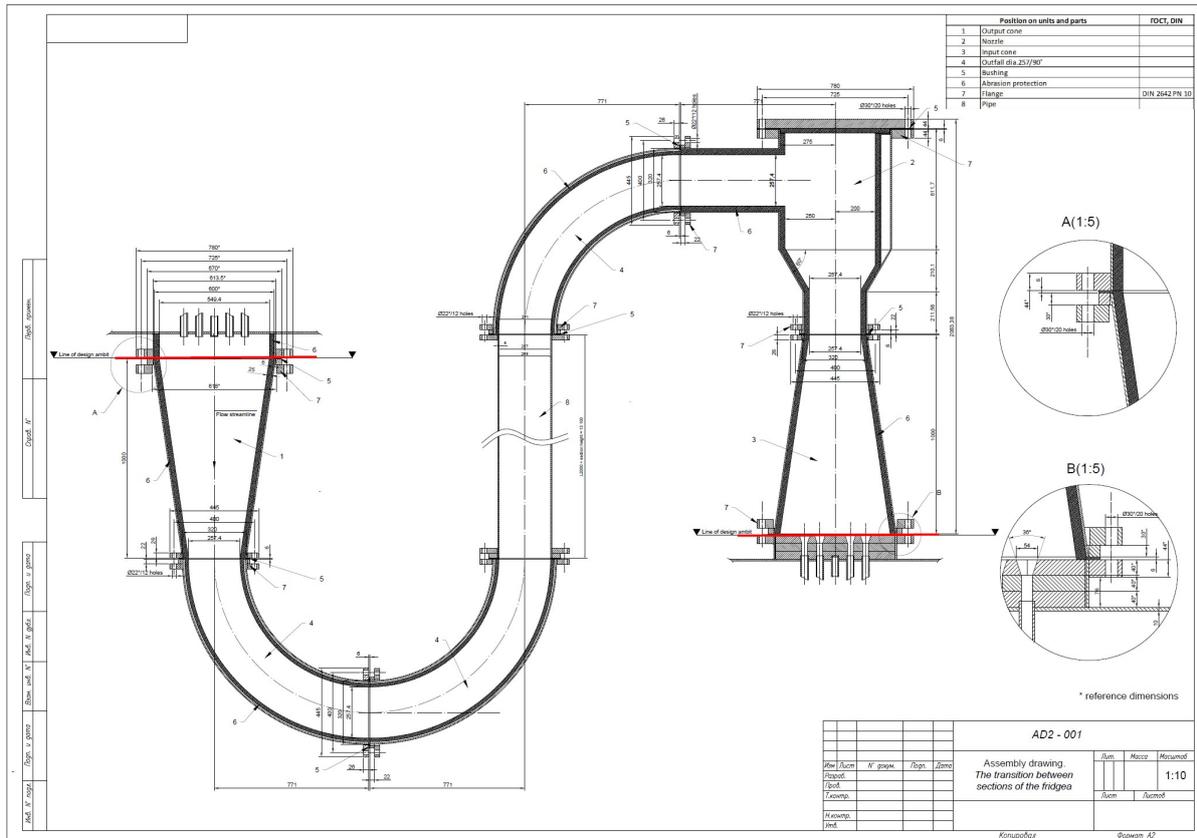


Приложение 3. Переходы между секциями холодильника угольной пыли.





Приложение 3.1. Переборка потока снизу вверх



Приложение 4. Потери давления при переборке потоков снизу вверх между секциями по результатам моделирования

	Секция 1	Секция 2	Секция 3	Секция 4	Секция 5
Средняя скорость воздуха, м/с	9,2	10,2	11,6	13,7	17
Поток воздуха, м3/с	0,48	0,54	0,61	0,72	0,89
Перепад давления, мбар	190,5	194,0	197,2	199,3	201,3
Масса угля в секции, кг	84	83	79	72	64



Приложение 5. Потери давления в переходах между секциями по результатам моделирования, отдельно для участков переходов

Druckverluste bei einzelnen Elementen den Sektionen gemäß Bild 1				Sektion1	Sektion2	Sektion3	Sektion4	Sektion5	Sektion6
Потери давления по-элементно по участкам секций (см. рис.1)				1 секция	2 секция	3 секция	4 секция	5 секция	6 секция
1. Верхний полуотвод (90°), в том числе:	ΔP_1	Па	$\Delta P_{пут1} + \Delta P_{под1}$	17	17	17	17	16	
Путевые потери	$\Delta P_{пут1}$	Па							
Потери на подъем	$\Delta P_{под1}$	Па							
2. Входной стакан, в том числе:	ΔP_2	Па	$\Delta P_{пут2} + \Delta P_{под2}$	14	12	15	14	16	
Путевые потери	$\Delta P_{пут2}$	Па							
Потери на подъем	$\Delta P_{под2}$	Па							
3. Верхний конус, в том числе:	ΔP_3	Па	$\Delta P_{пут3} + \Delta P_{под3}$	-7	-5	-7	-4	-4	
Путевые потери	$\Delta P_{пут3}$	Па							
Потери на подъем	$\Delta P_{под3}$	Па							
4. Нижний конус, в том числе:	ΔP_4	Па	$\Delta P_{пут4} + \Delta P_{под4}$	12	12	14	16	19	
Путевые потери	$\Delta P_{пут4}$	Па							
Потери на подъем	$\Delta P_{под4}$	Па							
5. Нижний отвод (180°), для 6-ой секции отвод на (90°), в том числе:	ΔP_5	Па	$\Delta P_{пут5} + \Delta P_{под5}$	23	26	26	28	30	
Путевые потери	$\Delta P_{пут5}$	Па							
Потери на подъем	$\Delta P_{под5}$	Па							
6. Вертикальный прямой участок, в том числе:	ΔP_6	Па	$\Delta P_{пут6} + \Delta P_{под6}$	132	131	132	128	124	
Путевые потери	$\Delta P_{пут6}$	Па							
Потери на подъем	$\Delta P_{под6}$	Па							
Сопротивление переходов (включенных в секцию) без учета потерь на подъем (нивелирную составляющую)	проверка	мм.в.ст	$\Delta P_{пут1} + \Delta P_{пут2} + \Delta P_{пут3} +$						
		Па	$\Delta P_{пут4} + \Delta P_{пут5} + \Delta P_{пут6}$						
Сопротивление переходов п.1-6, включенных в секцию (с учетом нивелирной составляющей)	$\Delta P_{переход}$	Па	$\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_6$	191	193	197	199	201	
Сопротивление теплообменного пакета с трубными досками (с учетом нивелирной составляющей и потерь на разгон)	$\Delta P_{пакет}$	Па							
Σ сопротивление секции	ΔP_c	Па							

Единицы измерения: мбар



Приложение 6. Сравнение результатов моделирования с результатами расчётов ЗиОКОТЕС

Потери давления по-элементно по участкам секций (см. рис.1)				1 секция	2 секция	3 секция	4 секция	5 секция	6 секция
1. Верхний полуотвод (90°), в том числе:	ΔP_1	Pa	$\Delta P_{нум1} + \Delta P_{под1}$	1700	1700	1700	1700	1600	
ZiOKOTEC		Pa		1061	1014	962	905	844	788
Путевые потери	$\Delta P_{нум1}$	Pa		853	825	792	756	717	679
Потери на подъем	$\Delta P_{под1}$	Pa		208	189	170	149	128	109
2. Входной стакан, в том числе:	ΔP_2	Pa	$\Delta P_{нум2} + \Delta P_{под2}$	1400	1200	1500	1400	1600	
ZiOKOTEC		Pa		7469	7231	6961	6658	6322	6004
Путевые потери	$\Delta P_{нум2}$	Pa		7677	7420	7130	6807	6450	6113
Потери на подъем	$\Delta P_{под2}$	Pa		-208	-189	-170	-149	-128	-109
3. Верхний конус, в том числе:	ΔP_3	Pa	$\Delta P_{нум3} + \Delta P_{под3}$	-700	-500	-700	-400	-400	
ZiOKOTEC		Pa		1260	1232	1200	1162	1119	1076
Путевые потери	$\Delta P_{нум3}$	Pa		1529	1478	1420	1356	1285	1218
Потери на подъем	$\Delta P_{под3}$	Pa		-270	-246	-221	-194	-166	-141
4. Нижний конус, в том числе:	ΔP_4	Pa	$\Delta P_{нум4} + \Delta P_{под4}$	00	1200	1400	1600	1900	
ZiOKOTEC		Pa		58	71	84	97	110	120
Путевые потери	$\Delta P_{нум4}$	Pa		328	317	305	291	276	261
Потери на подъем	$\Delta P_{под4}$	Pa		-270	-246	-221	-194	-166	-141
5. Нижний отвод (180°), для 6-ой секции отвод на (90°), в том числе:	ΔP_5	Pa	$\Delta P_{нум5} + \Delta P_{под5}$	00	2600	2600	2800	3000	



ZiOKOTEC		Pa		1706	1649	1585	1513	1433	570	
Путевые потери	$\Delta P_{пут5}$	Pa		1706	1649	1585	1513	1433	679	
Потери на подъем	$\Delta P_{под5}$	Pa		0	0	0	0	0	-109	
6. Вертикальный прямой участок, в том числе:	ΔP_6	Pa	$\Delta P_{пут6} + \Delta P_{под6}$	1300	13100	13200	12800	12400		
ZiOKOTEC		Pa		7415	6984	6513	6008	5475	0	
Путевые потери	$\Delta P_{пут6}$	Pa		4068	3932	3779	3607	3418	0	
Потери на подъем	$\Delta P_{под6}$	Pa		3347	3051	2734	2401	2057	0	
7. Сопротивление переходов (включенных в секцию) без учета потерь на подъем (нивелирную составляющую)	<i>проверка</i>	Pa	$\Delta P_{нvm1} + \Delta P_{нvm2} + \Delta P_{нvm3} +$							
		Pa	$\Delta P_{нvm4} + \Delta P_{нvm5} + \Delta P_{нvm6}$	16162	15622	15011	14331	13579	8950	
8. Сопротивление переходов п.1-6, включенных в секцию (с учетом нивелирной составляющей)	$\Delta P_{переход}$	Pa	$\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_6$	19100	19300	19700	19900	20100	0	
ZiOKOTEC		Pa		18969	18181	17305	16344	15304	8559	
9. Сопротивление теплообменного пакета с трубными досками (с учетом нивелирной составляющей и потерь на разгон)	$\Delta P_{пакет}$	Pa		9642	9731	9834	9956	10112	10297	
ZiOKOTEC		Pa		9642	9731	9834	9956	10112	10297	Сумма потерь
10. Σ сопротивление секции	ΔP_c	Pa		28742	29031	29534	29856	30212	18855	166231
ZiOKOTEC		Pa		28611	27912	27138	26300	25416	18855	154234

Ing.-Büro Feuerungs- – und industrielle Trocknungstechnologien
www. ftt-ing.de E-mail: dr.w.garber@gmx.de Mobil: +49 (0) 163 72 55 806



Приложение 7. Техническое задание на продолжение работ и моделирование