

Д. т. н. **И. Н. Логачёв**, д. т. н. **К. И. Логачёв** (✉), к. т. н. **О. А. Аверкова**

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия

УДК 533.6:628.5

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СИСТЕМ АСПИРАЦИИ. ЧАСТЬ 3. РАСЧЕТ ПОГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ*

Приведен расчет параметров эжекции при использовании телескопического погрузочного устройства. Предложены меры по повышению эффективности аспирации при загрузке сыпучих материалов.

Ключевые слова: аспирационное укрытие, перегрузки сыпучих материалов, снижение энергоемкости аспирационных систем.

В этой части статьи на основе методологии расчета рециркуляционных течений в загрузочном перфорированном канале с байпасной камерой, изложенной в частях статьи 1 и 2, производится расчет телескопического погрузочного устройства, применяемого для загрузки сыпучих материалов в различные емкости.

Расчет технологических параметров системы аспирации телескопического погрузочного устройства

Для локализации пылевыведений при загрузке сыпучих материалов используют телескопические погрузочные устройства, оборудованные аспирационными системами. Расчет таких устройств и предложения по их совершенствованию нашли применение в ОА «СК «Авлита», г. Одесса.

Технические характеристики телескопического погрузчика ПУ-700 (рис. 10, 11), выполненного по проекту ООО «Руна Инжиниринг», следующие:

Пропускная способность, м³/ч.....1575
Рабочий ход, м..... 17

* Части 1 и 2 статьи опубликованы в журнале «Новые огнеупоры» № 2 и 4 за 2014 г. В данной части статьи продолжается нумерация рисунков и формул с учетом представленных в частях 1 и 2.

✉
К. И. Логачёв
E-mail: kilogachev@mail.ru

Максимальная длина, м.....23
Минимальная длина, м..... 6
Скорость подъема, м/с..... 0,35
Привод:
 мотор-редуктор Flender, тип K148-
 LG180B4E-L260N, мощность, кВт.....22
 частота вращения выходного вала, об/мин 31
Масса патрубка разгрузочного аспираци-
онного, кг..... 2500

Погрузочное устройство в порту г. Одессы изображено на рис. 11. Расчетная схема представлена на рис. 12, результаты расчета — в табл. 1–4 и на рис. 13, 14.

Исходные данные и основные условные обозначения:

S_g — площадь поперечного сечения желоба 0,47 м²;
 S_{nw} — площадь неплотностей верхнего укрытия 0,4 (0,25) м²;
 S_{nk} — площадь неплотностей нижнего укрытия 0,4 (0,25) м²;
 ζ_n — к.м.с. (коэффициент местных сопротивлений) верхнего укрытия;
 ζ_k — к.м.с. нижнего укрытия;
 $\sum \zeta = \zeta_n + \zeta_k$ — сумма к.м.с. желоба и укрытия;
 ζ_0 — к.м.с. зазора между секциями желоба 1,5;
 r — отношение площади поперечного сечения байпасной камеры к площади S_g ;
 E — параметр, характеризующий перетекание воздуха через зазоры между секциями желоба;
 Le — параметр эжекции;
 u_0 — условная скорость воздуха при выходе из желоба;

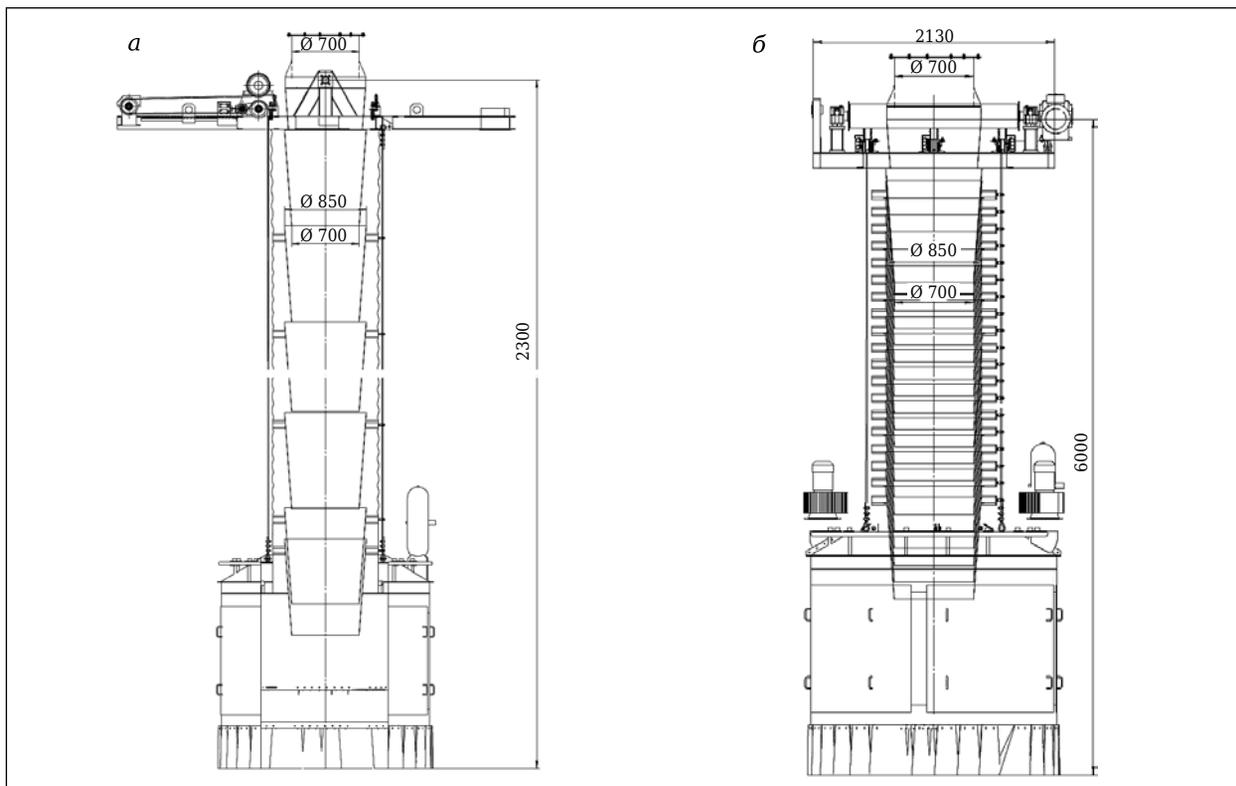


Рис. 10. Погрузочное устройство ПУ-700: а — в разложенном виде; б — в сложенном виде



Рис. 11. Общий вид погрузочного терминала ОАО «Авлита» в порту г. Одессы

Q_0 — расход воздуха, поступающего из желоба в нижнее укрытие, $m^3/ч$, определяемый по формуле $Q_0 = 3600u_0v_k S_g$, где v_k — скорость частиц в конце желоба без учета сопротивления воздуха, m/c ;

$v_0^{\%}$ — скорость частиц при входе в желоб, m/c ;

$n = v_0 / v_k$;

$Ke = \frac{Q_2}{Q_0} = \frac{u_2}{u_0}$, где Q_2 — расход эжектируемого воздуха в желобе для случая отсутствия зазоров между секциями (т. е. для желоба с непроницаемыми стенками при тех же остальных геометрических и технологических параметрах перегруз-

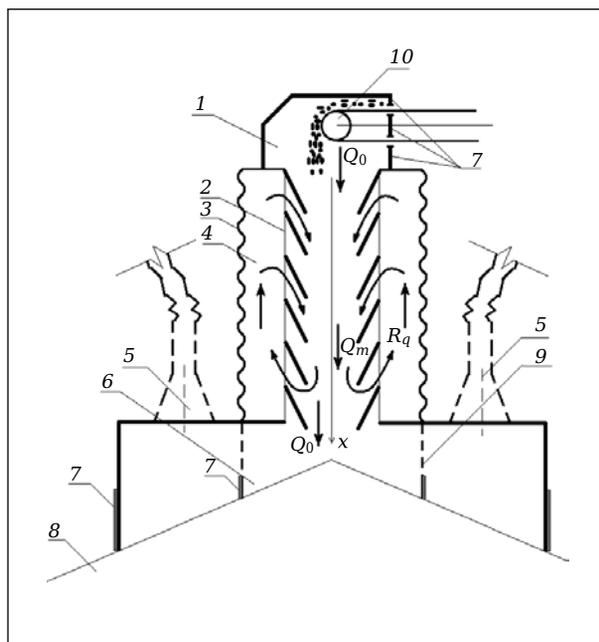


Рис. 12. Расчетная схема эжекции воздуха потоком сыпучего материала в телескопическом желобе ПУ-700: 1 — верхнее укрытие; 2 — телескопический желоб; 3 — наружный рукав; 4 — байпасная камера; 5 — аспирационные патрубки; 6 — нижнее укрытие (укрытие башмака желоба); 7 — герметизирующие фартуки; 8 — штабель сыпучего материала; 9 — возможные перегородки; 10 — стреловой конвейер

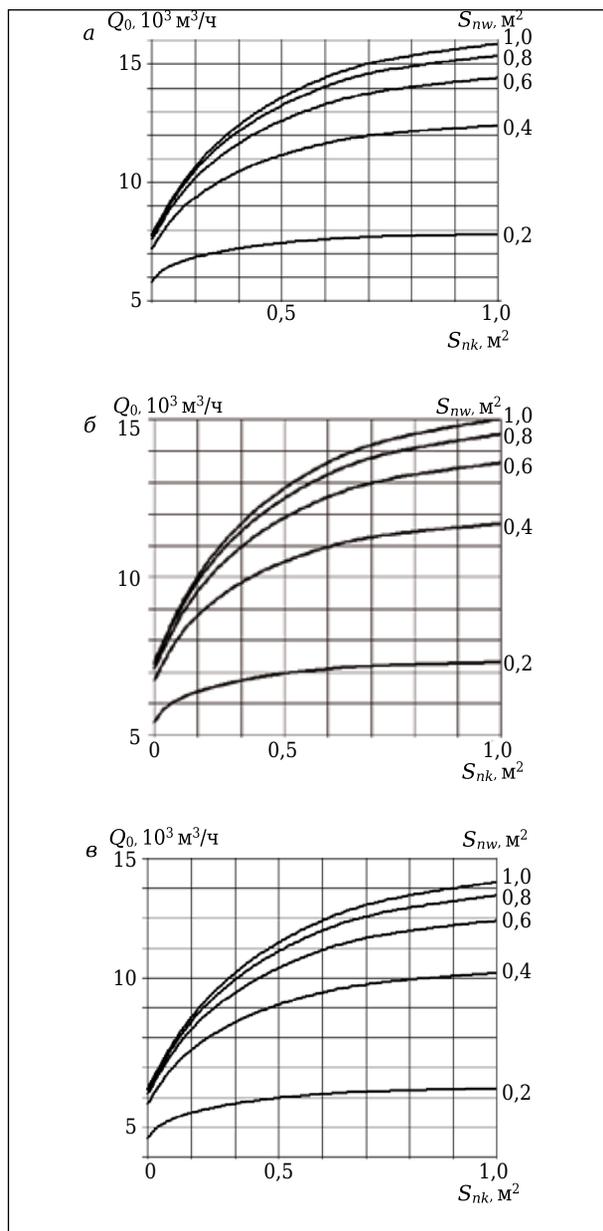


Рис. 13. Изменение объемов эжектируемого воздуха в телескопическом желобе, снабженном байпасной камерой, в зависимости от площади неплотностей верхнего S_{nw} и нижнего S_{nk} укрытий при $r = 1,015$, $E = 6,25$, $n = 0,3015$, $H_1 = 22 \text{ м}$, $v_k = 20,8 \text{ м/с}$: а — $Q_z = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$, $Le = 13$ (см. табл. 1); б — $Q_z = 0,22 \text{ м}^3/\text{с}$, $Le = 8,74$ (см. табл. 2); в — $Q_z = 0,44 \text{ м}^3/\text{с}$, $Le = 4,06$ (см. табл. 3)

ки), определяемый по формуле $Q_2 = 3600u_2v_kS_g$ при герметизации зазоров между секциями, где u_2 — условная скорость в желобе с непроницаемыми стенками;

Q_z — объемный расход перегружаемого материала, $\text{м}^3/\text{ч}$;

ζ , ζ_k , ζ_0 , r , E , u_0 , u_2 — безразмерные величины.

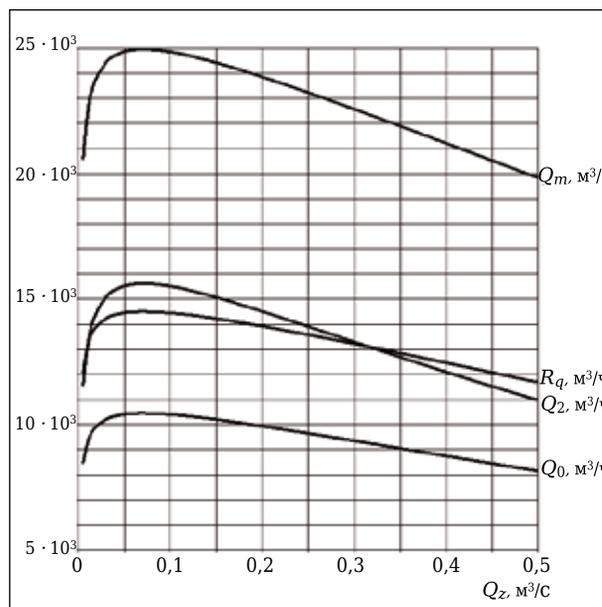


Рис. 14. Изменение объемов эжектируемого воздуха в телескопическом желобе при выходе Q_0 и «максимальном» сечении Q_m , в желобе с непроницаемыми стенками Q_2 , а также рециркулируемого воздуха в байпасной камере R_q в зависимости от объемного расхода перегружаемого материала Q_z

Рекомендации для проектирования эффективных аспирационных систем при перегрузках сыпучих материалов с помощью телескопических погрузочных устройств

1. Байпасная камера обеспечивает развитие рециркуляции эжектируемого воздуха, что уменьшает расход воздуха Q_0 , истекающего через неплотности нижнего укрытия в атмосферу загружаемой емкости, почти в 1,5 раза.

Например, при сравнении Q_2 и Q_0 при $S_{nw} = S_{nk} = 0,4 \text{ м}^2$: при малых расходах сыпучего материала $Q_z = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. табл. 1) $Ke = Q_2/Q_0 = 15465/10464 = 1,5$; при средних расходах $Q_z = 0,22 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. табл. 2) $Ke = Q_2/Q_0 = 14279/9828 = 1,45$; при больших расходах $Q_z = 0,44 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. табл. 3) $Ke = Q_2/Q_0 = 11652/8516 = 1,37$.

2. Дальнейшее снижение объемов эжектируемого воздуха Q_0 можно осуществить устройством в нижнем укрытии перегородок, которые увеличивают коэффициент местных сопротивлений $\zeta_k = 1 + 1,5 \cdot 2,4 \left(\frac{S_g}{S_{nk}}\right)^2$ (при тех же $S_{nw} = S_{nk} = 0,4 \text{ м}^2$ и больших расходах ($Q_z = 0,44 \text{ м}^3/\text{с}$) имеем $Q_0 = 7824 \text{ м}^3/\text{ч}$, в то время как без перегородок (см. табл. 3) $Q_0 = 8516 \text{ м}^3/\text{ч}$, т. е. снижается почти на 10%). Если же уменьшить неплотности до $S_{nw} = S_{nk} = 0,25 \text{ м}^2$, то расход составит $Q_0 = 5157 \text{ м}^3/\text{ч}$, т. е. снизится на $8516 - 5157 = 3359 \text{ м}^3/\text{ч}$ (почти на 40%).

Таблица 1. Изменение параметров эжектируемого воздуха в телескопическом желобе, снабженном байпасной камерой, в зависимости от площади неплотностей в верхнем S_{nw} и нижнем S_{nk} укрытиях при $Q_z = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$, $r = 1,015$, $E = 6,25$, $Le = 13$, $n = 0,3015$, $H_1 = 22 \text{ м}$ и $v_k = 20,8 \text{ м/с}^*$

S_{nk}	$Q_2, \text{ м}^3/\text{ч}$	x_m/H_1	$Q_m, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_0, \text{ м}^3/\text{ч}$	$R_q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$P_{ab}, \text{ Па}$
$S_{nw} = 0,2 \text{ м}^2$						
0,2	11408	7825	25709	5797	19913	100,4
0,4	12890	8033	25521	7210	18311	47,0
0,6	13260	8086	25463	7598	17864	29,9
0,8	13400	8106	25440	7749	17690	23,0
1,0	13467	8115	25428	7822	17606	19,6
$S_{nw} = 0,4 \text{ м}^2$						
0,2	12890	8033	25521	7210	18311	155,3
0,4	15645	8435	24380	10464	14516	98,99
0,6	16505	8564	24767	11654	13113	70,4
0,8	16859	8614	24675	12167	12508	56,4
1,0	17034	8644	24630	12426	12203	45,5
$S_{nw} = 0,6 \text{ м}^2$						
0,2	13260	8086	25463	7598	17864	172,5
0,4	16505	8564	24767	11655	13113	122,8
0,6	17613	8732	24475	13307	11168	91,8
0,8	18085	8804	24347	14054	10293	75,7
1,0	18324	8842	24283	14440	9843	66,9
$S_{nw} = 0,8 \text{ м}^2$						
0,2	13400	8106	25440	7749	17960	179,4
0,4	16859	8617	24676	12167	12508	133,8
0,6	18085	8805	24347	14054	10293	102,4
0,8	18619	8888	24205	14927	9278	85,4
1,0	18890	8931	24133	15383	8750	75,9
$S_{nw} = 1,0 \text{ м}^2$						
0,2	13467	8115	25428	7822	17606	182,8
0,4	17034	8644	24630	12426	12203	139,6
0,6	18324	8841	24283	14441	9843	108,06
0,8	18890	8931	24133	15383	8750	90,7
1,0	19180	8978	24059	15881	8178	80,9

* Здесь и далее в таблицах приняты следующие обозначения: x_m / H_1 — отношение удаления «максимального» сечения желоба, в котором наблюдается максимальный расход эжектируемого воздуха Q_m , к высоте желоба H_1 (в расчетах принято $H_1 = 22 \text{ м}$); Q_2 — расход воздуха в желобе при герметизации зазоров между секциями; Q_0 — расход воздуха, который поступает в атмосферу через неплотности укрытия; R_q — расход воздуха, рециркулируемого в байпасной камере (образованной непроницаемым рукавом вокруг телескопического желоба), $\text{м}^3/\text{ч}$; P_{ab} — избыточное статическое давление при выходе эжектируемого воздуха из желоба.

Таблица 2. Изменение параметров эжектируемого воздуха в телескопическом желобе, снабженном байпасной камерой, в зависимости от площади неплотностей в верхнем S_{nw} и нижнем S_{nk} укрытиях при $Q_z = 0,22 \text{ м}^3/\text{с}$, $r = 1,015$, $E = 6,25$, $Le = 8,74$, $n = 0,3015$, $H_1 = 22 \text{ м}$ и $v_k = 20,8 \text{ м/с}$

S_{nk}	$Q_2, \text{ м}^3/\text{ч}$	x_m/H_1	$Q_m, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_0, \text{ м}^3/\text{ч}$	$R_q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$P_{ab}, \text{ Па}$
$S_{nw} = 0,2 \text{ м}^2$						
0,2	10123	0,7799	24503	5397	19106	87,0
0,4	11545	0,8015	24252	6738	17515	41,0
0,6	11905	0,8069	24179	7106	17073	26,2
0,8	12042	0,8090	24150	7249	16901	20,1
1,0	12107	0,8100	24136	7318	16818	17,2
$S_{nw} = 0,4 \text{ м}^2$						
0,2	11545	0,8015	24252	6738	17515	135,6
0,4	14279	0,8426	23622	9828	13794	87,3
0,6	15166	0,8555	23400	10961	12438	62,3
0,8	15536	0,8609	23308	11450	11858	50,2
1,0	15720	0,8635	23263	11697	11566	43,9
$S_{nw} = 0,6 \text{ м}^2$						
0,2	11905	0,8069	24179	7106	17073	150,9
0,4	15166	0,8555	23400	10961	12438	108,6
0,6	16338	0,8724	23117	12539	10578	81,5
0,8	16852	0,8796	23002	13255	9747	67,3
1,0	17115	0,8833	22947	13627	9320	59,5
$S_{nw} = 0,8 \text{ м}^2$						
0,2	12042	0,8090	24150	7249	16901	157,0
0,4	15536	0,8609	23308	11450	11858	118,5
0,6	16852	0,8796	23002	13255	9747	91,1
0,8	17443	0,8879	22882	14096	8786	76,1
1,0	17749	0,8922	22826	14538	8288	67,8
$S_{nw} = 1,0 \text{ м}^2$						
0,2	12107	0,8100	24136	7318	16818	160,0
0,4	15720	0,8635	23363	11697	11566	123,7
0,6	17115	0,8833	22947	13697	9320	92,2
0,8	17749	0,8922	22826	14538	8288	81,0
1,0	18080	0,8968	22770	15021	7749	72,4

3. При эквивалентном диаметре частиц сыпучего материала $d_e = 3 \text{ мм}$ максимальная усредненная объемная концентрация частиц, при которой наблюдается максимальный расход Q_0^{max} для неаспирируемого телескопического погрузчика ПУ-700, составляет $\beta_y^{\text{max}} = 0,00246$, что соответствует $Q_z = 0,0707 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_0^{\text{max}} = 10450 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. табл. 4, рис. 14).

Нет оснований считать, что этот максимум не будет наблюдаться в рассматриваемом случае, когда усредненная концентрация при пуске и остановке погрузчика ПУ-700 изменяется в пределах 0–0,069. Он будет при каждом пуске и остановке

Таблица 3. Изменение параметров эжектируемого воздуха в телескопическом желобе, снабженном байпасной камерой, в зависимости от площади неплотностей в верхнем S_{nw} и нижнем S_{nk} укрытиях при $Q_z = 0,44 \text{ м}^3/\text{с}$, $r = 1,015$, $E = 6,25$, $Le = 4,0591$, $n = 0,3015$, $H_1 = 22 \text{ м}$ и $v_k = 20,8 \text{ м/с}$

S_{nk}	Q_z , м ³ /ч	x_m/H_1	Q_m , м ³ /ч	Q_0 , м ³ /ч	R_q , м ³ /ч	P_{ab} , Па
$S_{nw} = 0,2 \text{ м}^2$						
0,2	7852	0,7767	21774	4624	17151	63,9
0,4	9112	0,7994	21415	5798	15617	30,4
0,6	9437	0,8050	21318	6121	15197	19,4
0,8	9561	0,8072	21281	6247	15034	15,0
1,0	9620	0,8082	21263	6308	14956	12,8
$S_{nw} = 0,4 \text{ м}^2$						
0,2	9112	0,7994	21415	5798	15617	100,4
0,4	11652	0,8413	20678	8516	12162	65,6
0,6	12520	0,8543	20466	9521	10945	47,0
0,8	12890	0,8596	20386	9956	10430	38,0
1,0	13077	0,8622	20349	10178	10171	33,2
$S_{nw} = 0,6 \text{ м}^2$						
0,2	9437	0,8050	21318	6121	15197	111,9
0,4	12520	0,8543	20466	9521	10945	81,9
0,6	13712	0,8710	20238	10935	9302	62,0
0,8	14255	0,8778	20163	11586	8578	51,4
1,0	14538	0,8818	20133	11926	8207	42,6
$S_{nw} = 0,8 \text{ м}^2$						
0,2	9561	0,8072	21281	6247	15034	116,6
0,4	12890	0,8596	20386	9956	10430	89,6
0,6	14255	0,8781	20163	11586	8578	69,6
0,8	14897	0,8863	20102	12358	7744	58,5
1,0	15238	0,8905	20082	12769	7313	52,3
$S_{nw} = 1,0 \text{ м}^2$						
0,2	9620	0,8082	21263	6308	14956	118,9
0,4	13077	0,86223	20349	10178	10171	93,6
0,6	14538	0,8818	20133	11926	8207	73,7
0,8	15238	0,8905	20082	12769	7313	62,5
1,0	15614	0,8950	20070	13222	6848	56,1

погрузчика ПУ-700 в силу таких больших расходов перегружаемого сыпучего материала (до 0,44 м³/с).

4. Для полной локализации пылевыведений (не только снижением расхода Q_0) необходимо аспирировать нижнее укрытие по схеме, показанной на рис. 12 с обязательным устройством внутренней камеры. Величину Q_0 можно дополнительно уменьшить автоматизацией подъема желоба при загрузке сыпучего материала с минимальным (насколько это возможно) зазором. Полость байпасной камеры следует соединить с полостью внутренней камеры нижнего укрытия и с хорошо герметизированным верхним укрытием.

(Продолжение следует)

Таблица 4. Изменение параметров эжектируемого воздуха в телескопическом желобе, снабженном байпасной камерой, в зависимости от расхода перегружаемого сыпучего материала при $S_{nw} = S_{nk} = 0,4 \text{ м}^2$, $r = 1,015$, $E = 6,63$, $n = 0,3015$, $H_1 = 22 \text{ м}$ и $v_k = 20,8 \text{ м/с}$

Q_z , м ³ /ч	ψ	Le	Q_z , м ³ /ч	Q_m , м ³ /ч	Q_0 , м ³ /ч	R_q , м ³ /ч	P_{ab} , Па
0,005	0,705	3,97	11575	20584	8475	12109	65,0
0,01	0,566	6,36	13181	22450	9298	13152	78,1
0,02	0,414	9,32	14502	23850	9934	13917	89,2
0,03	0,326	11,01	15076	24426	10202	14225	94,1
0,04	0,267	12,00	15371	24716	10338	14378	96,6
0,05	0,223	12,56	15526	24867	10410	14457	98,0
0,06	0,190	12,83	15600	24938	10444	14494	98,6
0,07	0,164	12,92	15623	24959	10454	14505	98,8
0,08	0,143	12,87	15609	24946	10448	14498	98,7
0,09	0,126	12,72	15571	24910	10430	14479	98,4
0,10	0,111	12,51	15514	24855	10404	14450	97,9
0,12	0,089	11,96	15362	24707	10334	14379	96,5
0,14	0,072	11,33	15174	24524	10248	14276	94,9
0,16	0,059	10,66	14965	24317	10150	14167	93,1
0,18	0,049	9,99	14742	24094	10046	14047	91,2
0,20	0,042	9,34	14509	23858	9937	13921	89,3
0,22	0,035	8,72	14271	23614	9825	13789	87,3
0,24	0,030	8,19	14029	23362	9709	13652	85,2
0,26	0,026	7,58	13785	23104	9592	13512	83,2
0,28	0,022	7,06	13540	22842	9473	13368	81,1
0,30	0,019	6,58	13296	22576	9354	13222	79,1
0,32	0,017	6,13	13053	22307	9234	13074	77,1
0,34	0,015	5,71	12811	22036	9113	12923	75,1
0,36	0,013	5,33	12571	21764	8992	12771	73,1
0,38	0,012	4,97	12334	21490	8871	12618	71,1
0,40	0,010	4,64	12100	21214	8751	12464	69,2
0,42	0,009	4,33	11868	20939	8630	12309	67,3
0,44	0,008	4,04	11639	20663	8510	12153	65,5
0,46	0,007	3,78	11414	20387	8390	11997	63,6
0,48	0,0065	3,53	11192	20111	8270	11840	61,8
0,50	0,006	3,31	10974	19835	8151	11684	60,1

* * *

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект МК-103.2014.1) и программы стратегического развития БГТУ им. В. Г. Шухова (проект № А-10/12). ■

Получено 14.01.14
© И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв,
О. А. Аверкова, 2014 г.