ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Գիտական ֆիզ.-մաթ. սերիա XXXIII, № 5, 1980 Серия физико-математических наук

ГИДРАВЛИКА

Р. Е. АКОПЯН, Я. А. АЛМАСЯН, С. В. МАНУКЯН

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ РАСЧЕТА ПНЕВМОТРАНСПОРТА СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ДИАМЕТРА ТРУБОПРОВОДА

Рассмотренная ранее [1] методика расчета пневмотранспорта сыпучих материалов в трубопроводах переменного диаметра отличается значительной сложностью для его практического использования. Это объясняется необходимостью выполнения громоздких вычислений по математической модели процесса и предложенной итерационной схеме его реализации [2]. Для исключения этого недостатка предлагается методика получения аппроксимирующих выражений для сложных, нелинейных многомерных функций, адекватно описывающих поведение функций в широком интервале изменения переменных.

Исходной точкой при проведении исследований явилось гипотетическое представление сложной математической модели [2] в виде действующего объекта. Результаты расчета по модели принимались как результаты некого псевдоэксперимента, осложненного ошибками округлений и связанными неидентичностью расчетных по модели и реально действующих объектов, неполного учета в модели всех факторов, влияющих на процесс в действительности и т. д.

Результаты предварительных расчетов по модели [2], проведенных на ЭВМ, позволили установить закономерности, связывающие параметры модели. Так, все они находятся в функциональной связи от расхода транспортирующего воздуха n [3], начального диаметра трубопровода D_1, начального давления P_1 и свойств транспортируемых материалов, которых можно задать в виде насыпного удельного веса $\gamma_н$. Кроме того, изменения диаметров трубопровода от ступени к ступени, при постоянном перепаде давлений на ступени, оказались прямо пропорциональными соответствующим длинам отрезков трубопровода:

$$\frac{D_{i+1}-D_i}{D_i-D_{i-1}}=\frac{l_i}{l_{i-1}}. \qquad (1)$$

Удалось установить наличие линейной зависимости между отношениями длин ступеней и конечных давлений (рис. 1):

$$\frac{l_i}{l_{i-1}} = \alpha + \beta \frac{P_i}{P_{i+1}}, \qquad (2)$$

где α и β — неизвестные параметры.

Последовательное использование итерационных формул (1) и (2) для $i = 2, 3, 4, \ldots$ позволит произвести необходимые расчеты конструктивных размеров пневмотранспортирующего трубопровода с переменным диаметром (для постоянного ΔP), если в качестве начальных условий кроме параметров α и β, заданы также длина первого участка трубопровода l_1 и диаметр второго участка D_2.

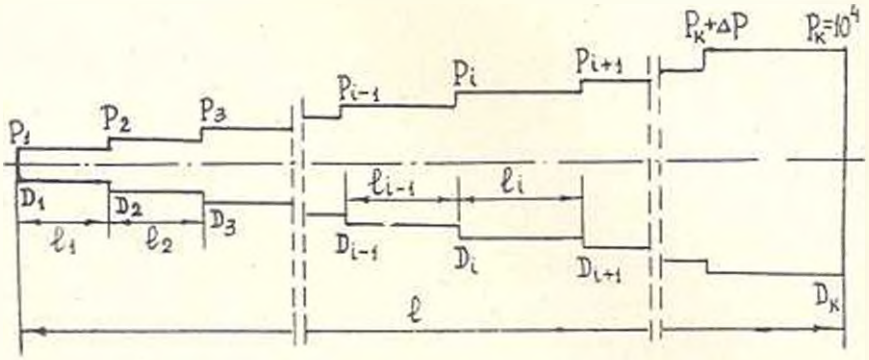

Рис.

Очевидно, что α, β, l_1 и D_2 зависят от основных параметров пневмотранспорта: n, D_1, P_1, $\gamma_н$. Постулировалось, что эта зависимость полиномальная:

$$Y = a_0 + a_1 n + a_2 D_1 + a_3 P_1 + a_4 \gamma_н + a_{12} n D_1 + a_{13} n P_1 + a_{14} n \gamma_н + a_{23} D_1 P_1 + a_{24} D_1 \gamma_н + a_{34} P_1 \gamma_н, \qquad (3)$$

где $Y = \alpha$ или β, или l_1, или D_2 и т. д.

Это позволило для определения коэффициентов полиномов (3) привлечь методы факторного планирования эксперимента.

Для построения плана псевдоэксперимента факторы кодировались согласно табл. 1.

Таблица 1

Факторы	n	D_1	P_1	$\gamma_н$	Кодирок. значения
Верхний уровень	0,004	0,1	7	1400	+1
Нижний уровень	0,0008	0,05	5	920	−1

Расчеты по модели [2] проводились согласно двухуровневому плану ПФЭ 2^4 [4] (табл. 2, графы 2÷5). На основании полученных результа-

тов рассчитывались пары значений α и β для всех точек плана с использованием метода наименьших квадратов (табл. 2, графы 6 и 8). Описательная сила выражения (2) после определения α и β характеризуется относительным процентным отклонением от расчетных по модели данным, от 0,3% до 0.6%.

Используя свойства ПФЭ, коэффициенты полинома (3) определялись по известным соотношениям [4]:

$$a_0 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Y_i; \qquad a_j = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_{ij} Y_i, \qquad j = 1, 2, 3, 4;$$
$$a_{jk} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_{ij} X_{ik} Y_i, \qquad \begin{matrix} j = 1, 2, 3, 4, & j \neq k, \\ k = 2, 3, 4, & N = 16. \end{matrix} \tag{4}$$

Значения коэффициентов полинома (3) для α и β после исключения незначимых коэффициентов и проведения обратного масштабного перехода согласно выражению

$$X_i = \frac{X_i^* - \dfrac{X_{i\,\text{макс}}^* - X_{i\,\text{мин}}^*}{2}}{\dfrac{X_{i\,\text{макс}}^* - X_{i\,\text{мин}}^*}{2}},$$

где X_i^* — значения i-ого фактора в натуральном масштабе измерения, приведены в табл. 3, (графы 3, 4).

При исключении незначимых коэффициентов руководствовались результатами сравнений критического значения критерия Фишера для уровня значимости 0.05, при известных степенях свободы $f_1 = f_2 = 16 - 1$, с дисперсионным отношением S_1^2/S_2^2, где S_1^2 — среднеквадратичные отклонения между результатами расчетов по модели [2] и по полиному (3) до исключения коэффициентов; S_2^2 — то же после исключения. Численные значения этих величин, а также усредненные относительные ошибки между данными псевдоэксперимента и полинома (3) (табл. 2, графы 7, 9) приведены в нижней части табл. 2, по которым можно судить о хорошей описательной силе полученных выражений.

Используя аналогичный подход, получены расчетные соотношения для l_1, D_2 и $D_к$ диаметра конечной ступени трубопровода (табл. 3, графы 5, 6, 7), адекватно описывающие результаты псевдоэксперимента (табл. 2, графы 10÷15).

На основе полученных результатов предлагается следующая методика расчета пневмотранспорта.

1. При заданных исходных данных: общая длина пневмотранспорта l; начальный диаметр D_1; давление P_1; вид транспортируемого вещества $\gamma_м$; рассчитывается необходимый расход воздуха по выражению, приведенному в [3].

2. Определяются l_1 и D_2 по полиному (3).

Таблица 2

№	n	D_1	P_1	γ_w	α	$\alpha_{расч.}$	β	$\beta_{расч.}$	l_1	$l_1^{расч}$	D_1	$D_1^{расч}$	D_2	$D_2^{расч}$	l	$l^{расч}$	$D_k^{расч}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	+	+	+	+	−0,06714	−0,06827	1,0954	1,0999	120,83	122,93	0,1028	0,1029	0,177	0,1792	4503	4634	0,1718
2	−	+	+	+	0,08172	0,08115	0,9342	0,9359	23,006	23,08	0,10256	0,1026	0,158	0,159	676	696	0,159
3	+	−	+	+	−0,1105	−0,11656	1,13883	1,1475	83,053	82	0,05147	0,0514	0,092	0,096	3234	3225	0,0948
4	−	−	+	+	0,02867	0,03285	0,98563	0,9836	15,85	15,9	0,05133	0,0511	0,081	0,076	484	484	0,082
5	−	−	−	+	−0,03025	−0,02553	1,0678	1,0651	122,04	122,93	0,10408	0,1038	0,157	0,153	2441	2447	0,1584
6	−	+	−	+	0,12841	0,12388	0,89331	0,9011	23,12	23,08	0,10357	0,1035	0,143	0,1455	390	398	0,1455
7	+	−	−	+	−0,07351	−0,07383	1,11133	1,1127	83,92	82	0,05216	0,0523	0,081	0,0823	1738	1689	0,0814
8	−	−	−	+	0,07188	0,07559	0,9475	0,9487	16	15	0,05187	0,052	0,073	0,0745	271	273	0,073
9	+	+	+	−	0,07656	0,07211	1,1023	1,0959	130,28	135,47	0,10281	0,1029	0,178	0,1911	5133	5180	0,172
10	−	+	+	−	0,07766	0,07731	0,93958	0,9359	23,22	23,25	0,10257	0,1026	0,159	0,1594	692	689	0,159
11	+	−	+	−	−0,11583	−0,1201	1,14492	1,1475	93,67	94,54	0,0515	0,0514	0,093	0,1122	3690	3773	0,0948
12	−	−	+	−	0,02195	0,02901	0,99351	0,9836	16,007	16,08	0,05137	0,0511	0,0824	0,0808	496	496	0,082
13	+	+	−	−	−0,03506	−0,02937	1,07365	1,0651	137,65	135,47	0,10405	0,1038	0,157	0,1527	2778	2723	0,1584
14	−	+	−	−	0,12533	0,1201	0,89828	0,9011	23,33	23,25	0,10382	0,1035	0,144	0,1425	388	390	0,1455
15	+	−	−	−	−0,07792	−0,07767	1,11668	1,1127	92,42	94,54	0,05218	0,0523	0,0814	0,0855	1938	1968	0,0814
16	−	−	−	−	0,07599	0,07165	0,94705	0,9487	16,11	16,08	0,05191	0,052	0,0741	0,075	277	279	0,073

1	Мат. ожид. относительных ошибок $\bar{\varepsilon}$, %	5,99	0,401	0,874	0,194	3,76	1,463	—
2	Дисперсионное отношение $S_1^2:S_2^2$	1,52	1,25	1,47	2,4	1,51	—	—
3	Числа степеней свободы f_1, f_2	16−11=5, 16−5=11	16−11=5, 16−5=11	16−11=5, 16−6=10	16−11=5, 16−4=12	16−11=5, 16−4=12	—	—
4	Табличные значения крит. Фишера	3,2	3,2	3,3	3,1	3,1	—	—

3. Предполагается, что перепад давлений на каждой ступени трубопровода колеблется в пределах 0,4÷0.6 *ата* и используя соответствующие коэффициенты в (3), из (2) определяется длина следующего участка трубопровода.

4. Из уравнения (1) определяется диаметр $i+1$-ого участка.

5. Расчеты повторяются с пункта 3 до тех пор, пока P_{i+1} не достигнет величины атмоферного давления.

О точности предлагаемой итерационной процедуры можно судить из сравнения суммарной длины всех участков, рассчитанных по модели [2], и по предлагаемой процедуре (табл. 2, графы 16, 17). Поскольку реализация модели [2] связана со значительными вычислительными трудностями, то вместо него можно воспользоваться простым соотношением, полученным в [3]. Кроме того, предлагается контролировать точность расчетов диаметров ступеней. Поскольку процесс итерационный, достаточно при этом сравнения полученных по итерационной схеме 2÷5 диаметров конечных ступеней (табл. 2, графа 18) с соответствующими значениями, рассчитанными по модели [2] (табл. 2, графа 14) или, для облегчения расчетов, со значениями, расчитанными по (3) (табл. 2, графа 15).

Таблица 3

X_i	a_i	Значения коэффициентов при параметрах				
		a	b	l_1	D_2	D_k
1	a_0	0,1604	0,881	−7,846	0,002645	−0,0451
n	a_1	−46,688	51,188	21380	0,0844	4
D_1	a_2	0,9656	−0,952	−25	1,0305	1,54
P_1	a_3	$-214\cdot10^{-8}$	$174\cdot10^{-8}$	—	$-438\cdot10^{-10}$	$67\cdot10^{-8}$
$\gamma_в$	a_4	$8\cdot10^{-6}$	$11\cdot10^{-6}$	0,0058	—	—
nD_1	a_{11}	—	—	210975	—	—
nP_1	a_{13}	—	—	—	—	—
$n_{ш}$	a_{14}	—	—	−8,055	—	—

Контрольные расчеты (табл. 2, графы 15—18) показали, что предполагаемая итерационная процедура 2÷5, наряду со значительным упрощениями вычислительного аспекта, обладает удовлетворительной точностью и может быть рекомендована для практического применения при проектировании пневмотранспортирующих установок.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 13.III.1979

Ռ. Ն. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Յ. Հ. ԱԼՄԱՍՅԱՆ, Ս. Ն. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ՓՈՓՈԽՎՈՂ ՏՐԱՄԱԳԾԱԿԻ ՀՈՂՈՎԱԿՆԵՐՈՎ ՊՆԵՎՄՈՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԱՊԱՈՐԻՆԱԿՄԱՆԸ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Պնեմատեղափոխման մոդելի հաշվարկային դժվարությունները շրջանցելու նպատակով, պահպանության հիման վրա գտնված են դծային կապակցություններ խողովակների երկարության և տրամագծի, երկարության և ճնշման փոփոխության միջև։ Դուրս է բերված դծային հավասարում ցանկացած պարամետրի որոշման համար։ Ստացված հավասարումների ճշտությունները հիմնավորված են մաթ. վիճակագրության մեթոդներով։

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Гаспарян А. М., Акопян Р. Е., Алмасян Я. А.* Расчет трубопроводов для перемещения аэросмесей при пневмотранспорте в плотном слое. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXVII, № 3, 1974.
2. *Акопян Р. Е., Алмасян Я. А., Манукян С. Н.* Влияние расхода транспортирующего воздуха на дальность перемещения аэросмеси. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXXII, № 6, 1979.
3. *Акопян Р. Е., Алмасян Я. А., Манукян С. Н.* Определение необходимого количества воздуха при проектировании пневмотранспорта со ступенчатым изменением диаметра трубопровода. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXXII, № 4, 1979.
4. *Хикс Ч.* Основные принципы планирования эксперимента. М., «Мир», 1967.