

Анализ потерь давления в фаршепроводах

А.А. ГОРБАТОВ

Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности, Москва, СССР

В.Д. КОСОЙ, А.В. ГОРБАТОВ, В.Ф. ШИРИКОВ, Ю.В. КОЛЫПИН

Московский технологический институт мясной и молочной промышленности, Москва, СССР

Исследованы различные методы расчета потерь давления в фаршепроводах, основанные на использовании эмпирических зависимостей. Отмечены их недостатки, предложен уточненный интегральный метод расчета потерь давления при передаче фарша по трубопроводу. При этом получено интегральное равенство и приближенная формула, как частный случай интегрального соотношения. Приведены результаты расчета потерь давления с помощью ЭВМ.

Analysis of pressure losses in sausage mince pipes

Various methods for calculating pressure losses in sausage mince pipes were studied, they being based on empirical relations. Their shortcomings were mentioned, a specified integral method was suggested, which resulted in an integral equality and an approximate formula as a special case of integral relationship. Calculation results on pressure losses derived by means of a computer are presented.

При автоматизации и механизации технологических комплексов мясной промышленности важную роль играет трубопроводный транспорт, как их основное звено, обеспечивающее своевременную передачу измельченного мяса и различных колбасных фаршей на очередную технологическую операцию.

Обладая большими преимуществами, трубопроводный транспорт, кроме того позволяет объединить все технологические процессы в единую поточную линию.

Однако рациональное использование трубопроводного транспорта требует проведения расчетов трубопроводов с целью оптимизации режимов транспортировки.

Расчет фаршепроводов, а также выбор оптимальных режимов транспортировки мясных фаршей непосредственно связан с потерями давления в трубопроводе.

В настоящее время для расчета потерь давления при транспортировке фарша по трубопроводам используется соотношение вида

$$P = 1800 l \cdot d^{-0.8} \theta_0^{0.118} (\text{зарф } \rho_{\text{отк}} w)^{0.882} \quad (1)$$

называемое критериальным уравнением, либо равенство

$$\frac{P}{4 l / d} = B_0^* \gamma' \left(\frac{3n + 1}{4n} \right) \cdot \left(\frac{8w}{\gamma' d} \right)^2 \quad (2)$$

носящее название уравнение течения "степенной" жидкости Γ_1 . Здесь:

- P - потери давления в трубопроводе или давление на выходе насоса, Па;
- l/d - соответственно длина и диаметр трубопровода, м;
- θ_0 - предельное напряжение сдвига перекачиваемого фарша, Па;
- $\rho_{\text{зарф}}$ - эффективная вязкость фарша Па·с, определяемая по формуле

$$\rho_{\text{зарф}} = B_0^* \left(\frac{\dot{\gamma}'}{\dot{\gamma}_1} \right)^m = B w_*^{-m} \quad (3)$$

$S_{\text{стн}}$ - относительная плотность фарша;

w - среднеобъемная скорость фарша или окружная скорость вращения ротора вискозиметра, м/с;

B_0^*, B - эффективная вязкость соответственно при единичном градиенте скорости и при окружной скорости, равной единице, Па·с;

$\dot{\gamma}'$ - градиент скорости, с⁻¹;

$\dot{\gamma}_1$ - единичный градиент скорости, с⁻¹;

- w^* — относительная скорость вращения ротора вискозиметра, определяемая равенством
 $w^* = w/w_1$;
 n — интегральный индекс течения, равный $n = 1 - m$;
 m — темп разрушения структуры.

При расчете потерь давления по формулам (1) или (2) прежде всего определяются значения параметров α , B и m , характеризующих сдвиговые свойства колбасных фаршей. При этом α и B изменяются по экспоненциальному закону и зависят от жирности " γ' ", влагосодержания " φ " и давления " P ". Величина " m " является функцией жирности и давления. Указанные функции α , B и m определяются на основании экспериментальных данных [2]. Экспериментальным методом устанавливается также связь градиента скорости $\dot{\gamma}$ и скорости вращения ротора используемого вискозиметра, которая согласно [1] имеет вид

$$\dot{\gamma} = 434,8 w \quad (4)$$

Тогда из (3) и (4) получаем выражение, связывающее B_o^* и B :

$$B_o^* = (434,8)^m \cdot B \quad (5)$$

Характеристики фарша, входящие в соотношения (1) и (2), получены при атмосферном давлении. В то же время в процессе транспортировки фарш подвергается давлению от максимального значения на входе трубопровода до минимального значения на выходе. Это приводит к изменению реологических характеристик фарша. Следовательно, потери давления, рассчитанные по формулам (1) и (2), являются приближенными, так как при этом не учитывается изменение эффективной вязкости в зависимости от давления.

Для более точных расчетов фаршепроводов следует учесть изменение давления в зависимости от его длины. С этой целью применим интегральный подход к расчету потерь давления.

Для этого трубопровод длины " l " разобъем на n элементарных отрезков длины Δx_i , таких, что в пределах каждого отрезка приращение давления $\Delta \tilde{P}_i = \tilde{P}_{i+1} - \tilde{P}_i$ было мало, то есть давление на участке Δx_i — можно было считать постоянным.

Тогда $\Delta \tilde{P}_i$ удовлетворяет соотношению (2), с учетом которого имеем:

$$\frac{\Delta \tilde{P}_i d}{\Delta x_i} = 4 B_o^* \dot{\gamma}_i \left(\frac{8}{\dot{\gamma}^2 d} \right) \cdot \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \cdot W^n \quad (6)$$

Заметив, что $\rho = I - m$ и преобразовав выражение (6) получим:

$$\int_0^P \frac{\Delta P_i}{B_0^* \left[\frac{1+3(1-m)}{1-m} \right]^{1-m} \left(\frac{2}{g_i d} \right)^{1-m} W^{1-m}} = \frac{4 \delta_i \Delta x_i}{d} \quad (7)$$

Для определения потерь давления в трубопроводе длиной " l " проинтегрируем равенство (7), считая давление на выходе трубопровода равным нулю.

$$\int_0^P \frac{d\tilde{P}}{B_0^* \left[\frac{1+3(1-m)}{1-m} \right]^{1-m} \left(\frac{2}{g_i d} \right)^{1-m} W^{1-m}} = \frac{4 \delta_i}{d} \int_0^l dx \quad (8)$$

Затем подставив в соотношение (8) эмпирические зависимости для B_0^* , m , δ_i , W и введя ряд обозначений, получим интегральное равенство в виде:

$$\int_0^{z_0} e^{Bz} \left[\frac{M - Nz}{D - Cz} \right]^{Cz - D} dz = K \quad (9)$$

В этом равенстве приняты следующие условные обозначения:

$$Z = \ln(P \cdot 10^{-5} + I);$$

$$A = [\varphi(27,9\varphi - 13,4) - 0,18\varphi^2 + 0,5];$$

$$B = [0,428 - 0,279\varphi(27,9\varphi - 13,4) - 0,43U(0,8\varphi + 0,1) \cdot (18\varphi^2 + 0,5)];$$

$$C = 0,43 [0,045 + 3 \cdot (\varphi - 0,24)^2];$$

$$D = [0,26 - 4,6 \cdot (\varphi - 0,24)^2];$$

$$E = [1,78 - 13,8(\varphi - 0,24)^2];$$

$$F = \frac{2W}{g_i d}; \quad G = \frac{0,54 \delta_i l}{d};$$

Величины A , B , C , D , M , N и K рассчитываются в каждом конкретном случае по известным реологическим характеристикам фарша, для заданного диаметра d , длины ℓ трубопровода и скорости поступления фарша w , при этом величина искомых потерь давления содержится в верхнем пределе интегрирования $-z_0$.

Равенство (9) было использовано для расчета потерь давления P с помощью ЭВМ. Блок-схема расчетного алгоритма представлена на рис. I.

В результате расчетов были определены зависимости потерь давления от длины трубопровода для ряда производственных условий. Расчетные данные сравнивались с результатами экспериментов, проведенных в тех же условиях на современной аппаратуре с использованием потенциометрических датчиков давления [3].

На рис. 2 изображены зависимости потерь давления при передаче колбасных фаршей по трубопроводу при различных значениях его длины и диаметра, а также скорости движения фарша. Эти зависимости получены экспериментально (кривые 1) и рассчитаны по уравнениям (I, 2, 9) - соответственно кривые 4, 5, 2.

Из графиков видно, что кривые 1 и 2 имеют идентичный закон изменения и отличаются несущественно. В то же время кривые 4 и 5, полученные с помощью уравнений (I и 2) аппроксимируются прямыми линиями. При этом кривые 5 имеют большое расхождение с предыдущими. Следовательно, уравнение (9) более точно описывает процесс течения фарша в трубопроводах, чем уравнения (I) и особенно (2).

Однако расчет "P" по уравнению (9), как правило, требует применения ЭВМ, что не всегда возможно, или в некоторых случаях представляется трудоемким. Для упрощения указанных расчетов получим приближенную формулу. Анализ значимости коэффициентов C , D , K , M и N , входящих в (9), показал, что во многих случаях при $P << 4 \cdot 10^5$ Па выполняется условие $M >> N_z$ и $D >> C_z$. Это позволяет подинтегральную функцию (9) представить в виде

$$f(z) = e^{Bz} \left(\frac{M}{D}\right)^{-D} \quad (10)$$

Тогда интеграл (9) запишется как

$$\int_{z_0}^{\infty} e^{Bz} \left(\frac{M}{D}\right)^{-D} dz = \frac{1}{B} \left(\frac{D}{M}\right)^D \left(e^{Bz_0} - 1\right) \quad (II)$$

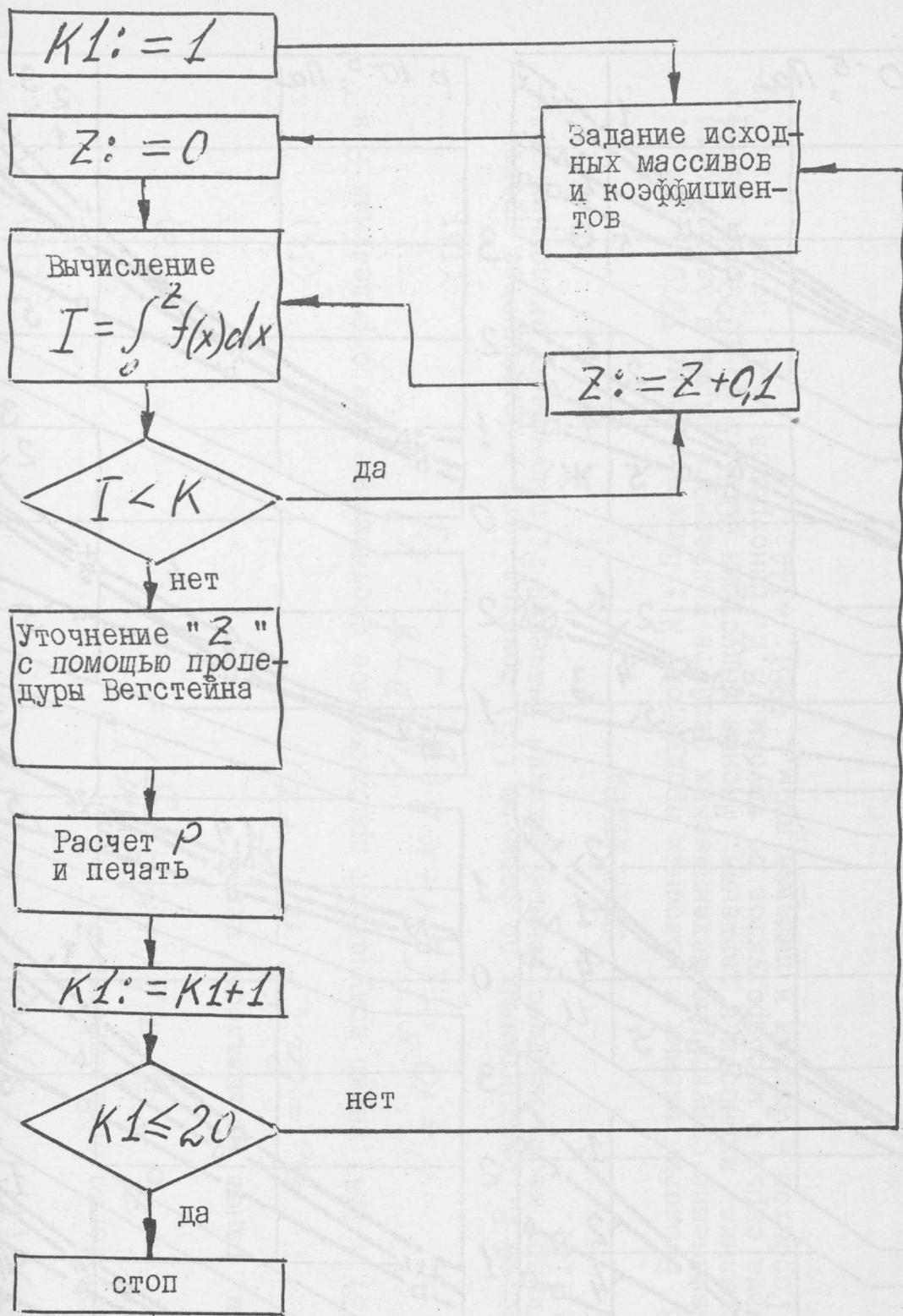
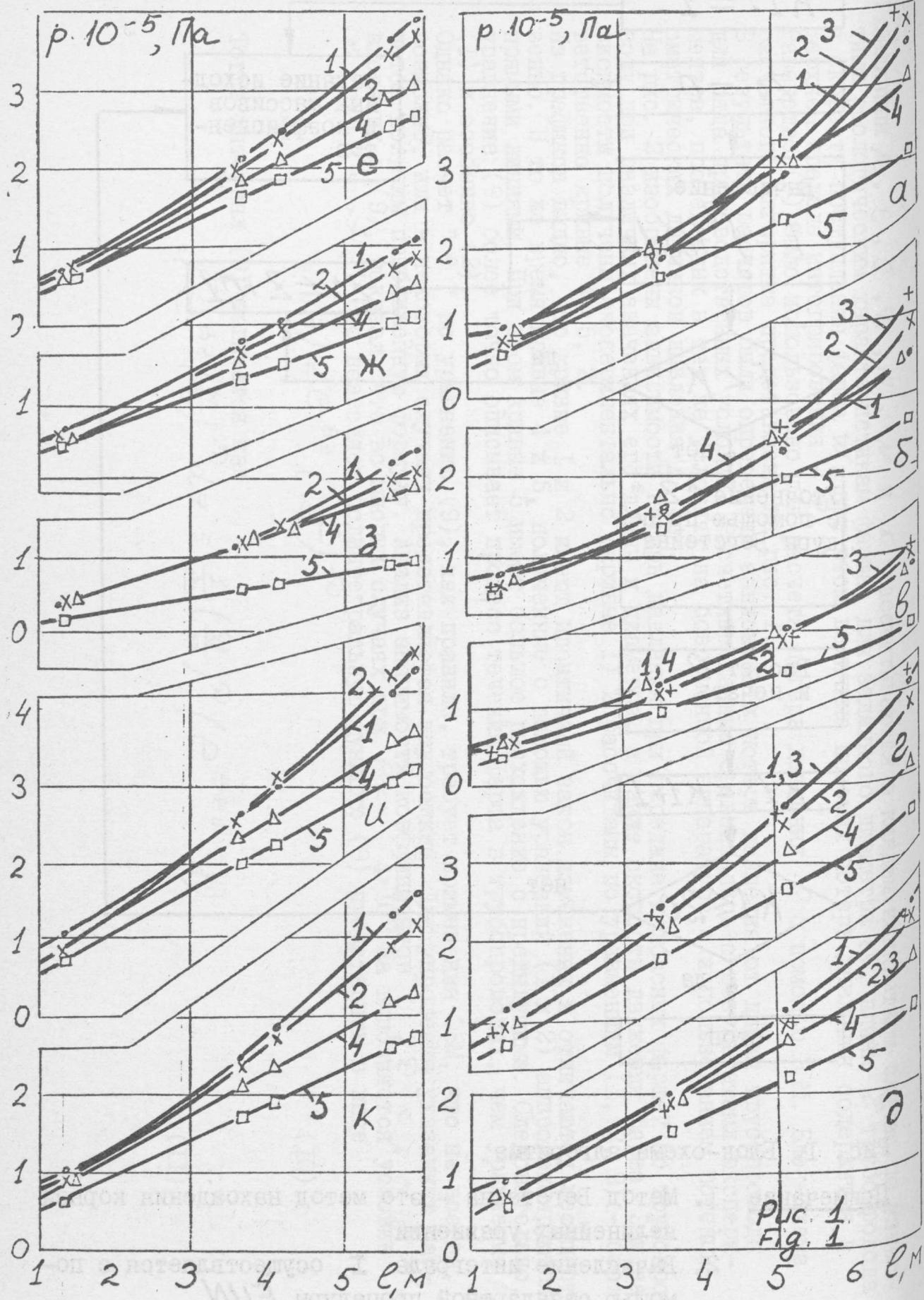


Рис. I. Блок-схема алгоритма

- Примечание
1. Метод Вегстейна – это метод нахождения корней нелинейных уравнений
 2. Вычисление интеграла I осуществляется с помощью стандартной процедуры FUN



следовательно имеет место равенство

$$\frac{1}{B} \left(\frac{D}{M} \right)^D \left(e^{BZ_0} - 1 \right) = K \quad (I2)$$

Из равенства (I2) легко определяется Z_0 :

$$Z_0 = \frac{1}{B} \ln \left[1 + K \cdot B \left(\frac{M}{D} \right)^D \right] \quad (I3)$$

С другой стороны, ранее указывалось, что

$$Z_0 = \ln (P \cdot 10^{-5} + 1) \quad (I4)$$

Из равенства (I3) и (I4) легко получается приближенное соотношение для определения Р в виде:

$$P = 10^5 \left\{ \left[\left(1 + K \cdot B \left(\frac{M}{D} \right)^D \right)^{\frac{1}{B}} - 1 \right] \right\} \quad (I5)$$

Анализ зависимостей Р, рассчитанных по формуле (I5) показал, что в большинстве практических случаев имеют место несущественные отличия значений Р, полученных экспериментально и по формуле (I5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов, М.: Пищевая пром. 1979, -394 с.
2. Косой В.Д. Изменение структурно-механических свойств колбасного фарша в зависимости от влагосодержания, жирности и давления. Мясная индустрия СССР, № 4, 1979, с. 39-44.
3. Транспортировка сырья и мясопродуктов по трубам. Я.И. Виноградов, В.Д. Косой, А.А. Горбатов, А.В. Горбатов - Легкая и пищевая пром., 1981, -144.