

УДК 621.86.001.4

Повышение точности расчетов шнековых конвейеров путем переопределения независимой переменной (аргумента)*

В.А. КЕРЖЕНЦЕВ¹, Н.В. ПЕРОВА²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент. E-mail: kerzhencev@corp.nstu.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, старший преподаватель. E-mail: perova@corp.nstu.ru

Приводится анализ общеизвестной формулы расчета производительности шнековых конвейеров, ставшей классической. Анализ формулы вызван тем, что она дает рассогласование расчетных значений с паспортными данными, установленное в результате предварительных числовых вычислений как по этой, так и по другим формулам, аналогичным классической. Это рассогласование может достигать значительных величин, что приводит к потере точности. Установлены причины таких расхождений между расчетными и паспортными параметрами шнековых конвейеров, которые обусловлены тем, что данные формулы применяются для расчетов высокопроизводительных шнековых конвейеров, рассчитываемых на перемещение больших масс материалов (например, для транспортирования сыпучего пищевого сырья или горнорудных, строительных материалов). Эти расхождения обусловлены также субъективным выбором входящих в формулы различных параметров шнеков, зависящих от опытности разработчиков. Поэтому для устранения причин поставлена в работе задача повысить точность расчетов. Установлена другая причина необходимости повышения точности расчетов, возникающая при встраивании шнековых устройств в технологические машины. Выявлена следующая проблема: при встраивании шнековых устройств в конструкцию технологических машин требуется согласование производительностей обоих устройств и проведение более точных расчетов шнеков как устройств малой производительности. Предложено решать указанные задачи путем переопределения формульных переменных, используя в качестве задающего параметр «производительность». Параметр «производительность» встраивается в расчетные формулы шнекового конвейера в качестве аргумента. Установлено, что в этом случае параметры шнека (диаметр и другие его размеры) становятся зависимыми от заданной производительности. Данные факторы, определяющие параметры шнековых устройств, выражены через математические формулы, что исключают субъективность в выборе конкретных числовых значений. Точность размеров достигается учетом и взаимосогласованностью всех параметров: при изменении одного из них изменяются в пропорции другие, но все изменения в конечном итоге приводят к величине заданной производительности шнека, согласованной с производительностью технологической машины.

* Статья получена 01 июля 2015 г.

Ключевые слова: шнек, шнековый конвейер, производительность, диаметр шнека, средняя окружность, частота вращения, межвитковое расстояние, толщина слоя, скорость выхода

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-4-48-62

ВВЕДЕНИЕ

Шнековые конвейеры используются во многих отраслях промышленности. В научно-технической литературе приводятся различные методики расчета параметров шнековых конвейеров. Так, в работе [1] дана теория расчета конвейерных шнековых устройств в применении к различным типам материалов (кусовым, сыпучим, пылевидным). Формулы расчета, аналогичные приведенным в [1], приведены также в литературе [2, 3] и в справочниках на промышленные конвейеры [4 и 5]. В работе [6] приведены возможности использования вертикальных шнековых конвейеров, а в [7] дано проектирование шнековых конвейеров для транспортирования полимерных материалов; в [8] рассмотрены вопросы совершенствования шнековых модулей для транспортирования горных пород, а в [9] предложено проектировать шнеки как смесители вязкопластических материалов. Однако формулы, приведенные в вышеуказанных источниках, дают невысокую точность вычислений: они показывают расхождение между расчетными значениями и величинами, указанными в паспортах. Поверочные расчеты, приведенные в работе [10], доказывают это: значения, вычисленные по [1], не соответствуют паспортным.

В то же время существует потребность встраивания шнековых конвейеров в конструкцию технологических машин для совмещения транспортных и технологических операций. Возникает необходимость повысить точность расчетов, и это особенно актуально в пищевой промышленности, где шнековые устройства широко применяются в машинах непрерывного действия. Желательно повысить точность расчетов еще на стадии проектирования, например, при встраивании шнековых устройств в овощемоечные машины типа КУМ и БМГ [11] – для очистки сырья от примесей при транспортировании; то же и при встраивании шнеков в машины типа ШРМ [12] – для точной подачи массы на штампование заготовок печенья; это требуется и в машинах типа ККБ [13] – для точности калибрования плодов шнеками, и при использовании шнеков в мукомольном и в хлебопекарном производствах [14] – для обеспечения точности подачи муки шнековыми питателями и тестовых заготовок дозаторами теста. Такие машины требуют согласования скорости подачи смесей в машину, их выхода и продвижения шнеками на вход другой машины, входящей в поточную линию.

Немаловажно и число факторов, которые участвуют в расчетах шнеков; оно может быть большим, как это известно для шнеков, применяемых в мясорубках [15], а это требует более сложного расчета [16]. Однако и малое их число может быть недостаточным для повышения точности вычислений, как это, например, известно для классических расчетных схем. Иногда параметры могут быть заданы паспортом произвольно (не всегда согласованы между собой), и тогда главная расчетная величина – производительность, рассчитанная по общеизвестным формулам и зависящая, также будет произвольной.

В работе [10] рассмотрены расчетные формулы, позволяющие повысить точность вычислений путем взаимосогласования параметров шнека. В ней рассчитаны шнековые конвейеры типа К7-ФТГ, транспортирующие мясокостную муку. Числовые расчеты проведены как с использованием классических формул по [1], так и формул, полученных переопределением аргумента [10]: диаметр шнека рассчитывается по величине производительности. Расчеты по классическим формулам показали их расхождение с паспортными значениями, а результаты расчетов по [10] – соответствие с паспортными данными. Продолжением исследований [10] является работа [17], в которой сделана попытка сравнить и другие параметры шнеков: по линейным нагрузкам, тяговому усилию и мощности. По этим факторам также отмечено расхождение со значениями, рассчитанными с применением паспортных величин (различие составляет более чем в 3 раза).

Однако вычисления, приведенные в [10] и [17], не учитывают других параметров, таких как внутренний диаметр шнека (вала), межвитковое пространство, угол подъема витков и др. Желательно учесть эти факторы в формулах и тем самым повысить точность расчетов шнековых конвейеров.

Цель работы: исследовать расчетные формулы, характеризующие элементы шнекового конвейера, и увязать их математические выражения с величиной производительности, применив ее в качестве аргумента.

1. ОБОСНОВАНИЕ ВВЕДЕНИЯ НОВЫХ РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ (ТЕОРИЯ)

Задача заключается в том, чтобы пересмотреть формулу производительности шнекового устройства и выделить в ней части, отражающие конкретные параметры шнека и описываемые математическими выражениями; объединить их в новом формульном выражении, зависящем от величины заданной производительности. В этом случае значение производительности будет рассматриваться как аргумент, а другие параметры конвейера – как переменные величины.

Основным переменным параметром принимаем наружный диаметр шнека D (рис. 1), выражая через него другие размеры шнека путем введения безразмерных коэффициентов. Процесс изменения (переопределения) формульных выражений производим с использованием классической формулы объемной производительности, так как она не содержит параметр «плотность» транспортируемого материала (разный для различных материалов). Аналогичные изменения были произведены в работе [17], но в ней вычисления параметров приведены без учета величин, являющихся основными факторами конструкции (конструктивными элементами) шнека, такими как d , h , B , b , указанных на рис. 1. На рис. 1 приведена схема однозаходного шнека с постоянными по длине наружным и внутренним диаметрами и постоянным шагом витков. Результаты расчетов будут точнее, если ввести в рассмотрение данные элементы.

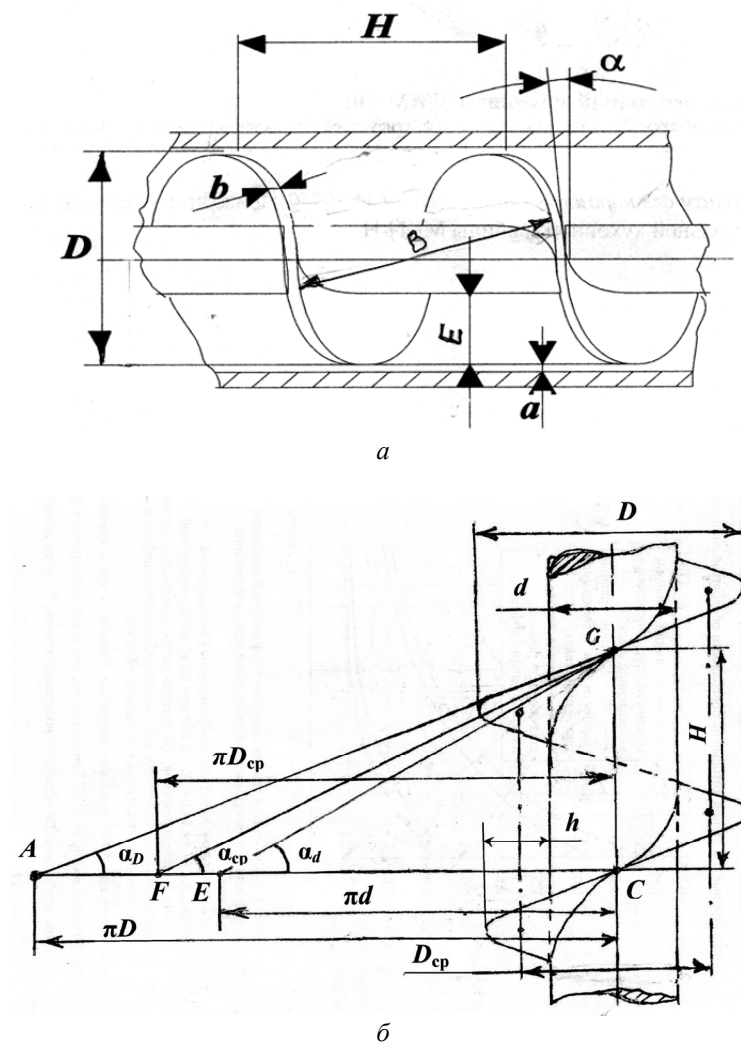


Рис. 1. Элементы шнекового конвейера:

a – геометрия шнека: D – наружный диаметр шнека; d – внутренний диаметр; H – шаг витка; B – межвитковое расстояние; E – глубина межвиткового пространства; a – зазор между корпусом и наружным диаметром витка; b – толщина витка шнека; α – угол подъема витка; b – схема развертки витка: AC – длина линии развертки по наружному диаметру D , равная πD ; EC – длина линии развертки по внутреннему диаметру d ; AG – длина линии развертки наклонного витка по наружному диаметру; EG – длина линии развертки наклонного витка по внутреннему диаметру; h – толщина слоя материала в межвитковом пространстве; D_{cp} – диаметр срединной окружности, проведенной в слое материала; FC – длина линии развертки по диаметру срединной окружности; FG – длина развертки витка по диаметру срединной окружности; α_D , α , α_{cp} – углы подъема витка по диаметрам D , d и D_{cp} соответственно

Структура классической формулы производительности

Известно (см. [11]), что объемная производительность шнекового конвейера (шнека, расположенного в цилиндрическом корпусе с минимальным зазором a (рис. 1, a)), определяется следующей формулой, м³/с:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \left(H - \frac{b}{\cos \alpha} \right) n K_{\text{ш}}, \quad (1)$$

или

$$Q = \frac{\pi}{4} (D - d)(D + d) \frac{B}{\cos \alpha} n K_{\text{ш}}, \quad (2)$$

где D и d – наружный и внутренний диаметры шнека, м; H – шаг витков шнека, м; α – угол наклона витка шнека, град (принимается в расчетах как средний угол подъема витков); b – толщина витка шнека прямоугольного сечения, м; n – частота вращения шнека, об/с; $K_{\text{ш}}$ – общий коэффициент, уменьшающий загрузку шнека, включающий коэффициенты: K_3 – коэффициент загрузки под загрузочным отверстием, $K_{\text{п}}$ – коэффициент подачи продукта шнеком, $K_{\text{сж}}$ – коэффициент сжатия сыпучего продукта.

В формуле (2) можно выделить следующие параметры:

а) радиус срединной окружности $D_{\text{ср}}$ (рис. 1, b), проведенный в шнеке внутри ленты продукта между диаметрами D и d ($D_{\text{ср}} = 2R_{\text{ср}}$), м:

$$D_{\text{ср}} = \frac{D + d}{2} = R + r \quad \text{или} \quad R_{\text{ср}} = \frac{(D + d)}{4}; \quad (3)$$

б) высота слоя h в межвитковом пространстве шнека, равная толщине ленты продукта в шнеке ($h = E$ на рис. 1, a), м:

$$h = \frac{(D - d)}{2}; \quad (4)$$

в) расстояние B между витками шнека, м:

$$B = H \cos \alpha - b; \quad (5)$$

г) косинус угла α подъема витков (средний угол) по срединной окружности диаметра $D_{\text{ср}}$ как отношение длины окружности FC к длине одного витка FG (рис. 1, b). Длина витка находится как корень квадратный из суммы квадратов катетов:

$$\cos \alpha = \frac{\pi D_{\text{ср}}}{\sqrt{(\pi D_{\text{ср}})^2 + H^2}}. \quad (6)$$

Теперь формула производительности (2) принимает вид, м³/с:

$$Q = (\pi D_{\text{ср}}) h (B / \cos \alpha) n K_{\text{ш}}. \quad (7)$$

Формулу (7) представим в другой интерпретации. Введем в рассмотрение безразмерные коэффициенты k_d , k_h , k_b , выражающие соотношения

между геометрическими размерами шнека d , H , B , b и его наружным диаметром D , следующим образом:

$$k_d = \frac{d}{D}; \quad k_h = \frac{H}{D}; \quad k_b = \frac{B}{H} = \frac{H \cos \alpha - b}{H} = \cos \alpha - \frac{b}{H}. \quad (8)$$

Параметры $D_{\text{ср}}$, h и B представим через коэффициенты (8), м:

$$D_{\text{ср}} = \frac{D(1+k_d)}{2}; \quad h = \frac{D-d}{2} = D \frac{(1-k_d)}{2}; \quad B = k_b H = k_b k_h D. \quad (9)$$

Новая формула производительности (видоизмененная)

Заменим в формуле (7) параметр $\cos \alpha$ соотношениями по формулам (6) и (9). Получим, м³/с:

$$Q = (\pi D_{\text{ср}}) h B \frac{\sqrt{(\pi D_{\text{ср}})^2 + (k_h D)^2}}{\pi D_{\text{ср}}} n K_{\text{ш}}. \quad (10)$$

Далее введем в формулу (10) вместо диаметра $D_{\text{ср}}$ его выражение через диаметр D по формуле (3) и, произведя преобразования, получим выражение производительности, зависящее от диаметра и частоты вращения шнека, м³/с:

$$Q = D^3 n \frac{(1-k_d)}{4} k_b k_h K_{\text{ш}} \sqrt{\pi^2 (1+k_d)^2 + 4k_h^2}, \quad (11)$$

где безразмерные коэффициенты k_b , k_d , k_h и $K_{\text{ш}}$ считаем постоянными, заданными предварительно на весь расчетный цикл.

Переопределение формулы по аргументу «производительность»

Заключительным действием из формулы (11) выражаем диаметр D через производительность (отделив коэффициенты k_d , k_h , k_b и $K_{\text{ш}}$ от переменных D и n), м:

$$D = \left(\frac{4Q}{n} \right)^{0,33} \left(\frac{1}{k_b k_h (1-k_d) K_{\text{ш}} \sqrt{\pi^2 (1+k_d)^2 + 4k_h^2}} \right)^{0,33}. \quad (12)$$

В формуле (12) частота n вращения шнека может быть определена по прототипу или по другим источникам. Представим в формуле (12) произведение коэффициентов через безразмерные коэффициенты C_1 и C_2 так:

$$C_1 = k_b k_h K_{\text{ш}} (1-k_d) \quad \text{и} \quad C_2 = \left[\pi^2 (1+k_d)^2 + 4k_h^2 \right]^{0,5}, \quad (13)$$

тогда диаметр D можно представить в зависимости от величины производительности Q (как аргумента), м:

$$D = \left(\frac{4Q}{n} \right)^{0,33} \left(\frac{1}{C_1 C_2} \right)^{0,33}. \quad (14)$$

Данное уравнение будет являться основным в новой расчетной схеме. Отличие формулы (14) от классической (1) в том, что производительность Q является независимой переменной, и ее числовое значение, заданное при проектировании, определяет диаметр D ; последний, в свою очередь, определяет другие размеры шнека (формулы (3)–(6), (8) и (9)). Рассчитанные таким образом элементы шнека, примененные к формулам (1) и (11), будут всегда приводить к значению производительности Q , близкой к заданной, что и требуется.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. ЧИСЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ ШНЕКОВ

Представляет интерес подтверждение правильности разработанных формул: необходимо сравнить расчетные значения производительности с заданной паспортом. В табл. 1 приведены паспортные значения трех однотипных конвейеров, рассмотренных в работе [10] (индекс «п» – паспортные значения).

Проведем вычисления по формулам (13) и (14), выполнив расчеты с использованием частот вращения n_p , заданных в паспортах на конвейеры (п. 4 табл. 1), и заполним табл. 2 (при $\rho = 480 \text{ кг/м}^3$; «н» – новые значения).

Таблица 1

Исходные данные конвейеров типа К7-ФТГ, заданных в паспортах

| Тип конвейера (модель) | К7-ФТГ | К7-ФТГ-1 | К7-ФТГ-2 |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Параметр по паспорту | | | |
| 1. Производительность, Q_p : | | | |
| – в т/ч | 2,97 | 6,85 | 6,85 |
| – в кг/с | 0,825 | 1,903 | 1,903 |
| – объемная, $\text{м}^3/\text{с}$ | $1,719 \cdot 10^{-3}$ | $3,964 \cdot 10^{-3}$ | $3,964 \cdot 10^{-3}$ |
| 2. Диаметр шнека по паспорту D_p , м | 0,32 | 0,32 | 0,32 |
| 3. Шаг витка H_p , м | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| 4. Частота вращения шнека n_p , об/мин | 10 | 26 | 30 |

Таблица 2

Расчетные значения параметров при частотах $n_{\text{п}}$ заданных в паспортах

| Наименование параметра, размерность | Формула, обозначение параметра | Числовые значения (на весь цикл расчета по формуле (14)) | | |
|--|--|--|-----------------------|-----------------------|
| Значения безразмерных коэффициентов | | | | |
| Коэффициенты наполнения K_3 , подачи $K_{\text{п}}$ и сжатия $K_{\text{сж}}$ | | $K_3 = 0,9, K_{\text{п}} = 0,77, K_{\text{сж}} = 0,80$ | | |
| Коэффициент снижения нагрузки $K_{\text{ш}}$ | $K_{\text{ш}} = K_3 K_{\text{п}} K_{\text{сж}}$ | 0,554 | | |
| Коэффициент размеров шнека | k_b, k_d, k_h | $k_b = 0,87, k_d = 0,51, k_h = 1$ | | |
| Коэффициент шнека C_1 | $C_1 = k_b k_h (1 - k_d) K_{\text{ш}}$ | 0,236 | | |
| Коэффициент шнека C_2 | $C_2 = [\pi^2 (1 + k_d)^2 + 4k_h^2]^{0,5}$ | 5,148 | | |
| Расчетные значения | | К7-ФТГ | ФТГ-1 | ФТГ-2 |
| 1. Диаметр шнека $D_{\text{ш}}$, м | $D_{\text{ш}} = \left(\frac{4Q}{n_{\text{п}}}\right)^{0,33} \left(\frac{1}{C_1 C_2}\right)^{0,33}$ | 0,327 | 0,315 | 0,30 |
| 2. Шаг витков шнека, $H_{\text{ш}}$, м | $H_{\text{ш}} = k_h D_{\text{ш}}$ | 0,327 | 0,315 | 0,30 |
| 3. Диаметр вала шнека, $d_{\text{ш}}$, м | $d_{\text{ш}} = k_d D_{\text{ш}}$ | 0,167 | 0,160 | 0,153 |
| 4. Скорость продукта, $v_{\text{ш}}$, м/с | $v_{\text{ш}} = H_{\text{ш}} n_{\text{п}} / 60$ | 0,055 | 0,136 | 0,150 |
| 5. Производительность объемная | $Q_{\text{ш}}$, формула (1), м³/с | $1,714 \cdot 10^{-3}$ | $3,957 \cdot 10^{-3}$ | $3,963 \cdot 10^{-3}$ |
| 6. Производительность, $Q_{\text{ш}}$, т/ч | $Q_{\text{мас.ш}} = 3,6\rho Q_{\text{ш}}$, т/ч | 2,961 | 6,840 | 6,848 |

Сравнение данных табл. 1 и 2 по параметру «производительность» (п. 1 табл. 1, п. 5 и 6 табл. 2) очень близки по величине, хотя диаметры шнеков и шаг витков различны. Анализ расчетов показывает, что заданные в паспортах численные значения диаметров и шага витков являются произвольными (п. 1 табл. 1), в то время как значение того же параметра, вычисленное по формуле, согласованное с диаметром, дает более объективное значение величины диаметра и шага витков.

В формуле (14) частота n вращения шнека, может быть определена по прототипу или по другим источникам. Результаты расчетов, представленных в табл. 2, получены для числовых значений $n_{\text{п}}$, (п. 4 табл. 1). Однако реально могут быть использованы другие возможные частоты вращений; тогда при

подстановке новых значений n изменятся соответствующим образом и значения параметров, представленных в п. 2, 3 и 4 табл. 2. Например, в работе [1, формула (12.3)] предложено применять частоту вращения n , зависимую от вида перемещаемого шнеком материала, используя выражение

$$n = \frac{A}{\sqrt{D}}, \quad (15)$$

где A – фактор, характеризующий четыре вида различных материалов-грузов.

Для каждого вида материалов, характеризующихся фактором A , приведены также соответствующие значения фактора φ (заполнение межвиткового пространства), который соответствует принятому здесь коэффициенту K_3 ($K_3 = \varphi$).

Теперь введем в формулу (14) выражение n по формуле (15). Получим

$$D = \left(\frac{4Q\sqrt{D}}{A} \right)^{0,33} \left(\frac{1}{C_2 C_3} \right)^{0,33} \quad \text{и} \quad \frac{D}{(\sqrt{D})^{0,33}} = \left(\frac{4Q}{A} \right)^{0,33} \left(\frac{1}{C_2 C_3} \right)^{0,33}.$$

Окончательно получим для диаметра D выражение

$$D = \left(\frac{4Q}{A} \right)^{0,4} \left(\frac{1}{C_2 C_3} \right)^{0,4}, \quad (16)$$

где $C_3 = k_b k_h (1 - k_d) K_{ш}$.

Для числового исследования влияния данных факторов на частоту вращения n и на другие параметры шнека выберем из работы [1] для влажной мясокостной муки следующие значения: $A = 45$, $\varphi = 0,25$. Проведем числовые расчеты по формуле (16); заполним табл. 3, используя безразмерные коэффициенты из табл. 2 (индекс «р» – расчетное значение).

Таблица 3

Новые расчетные значения параметров при данном значении A

| Наименование параметра, размерность | Формула, обозначение параметра | Числовые значения (на весь расчет по формуле (17)) |
|---|---------------------------------|--|
| Коэффициенты: наполнения K_3 , подачи $K_{п}$ и сжатия $K_{сж}$ | | $K_3 = 0,25$, $K_{под} = 0,77$, $K_{сж} = 0,8$ |
| Коэффициент снижения нагрузки $K_{ш}$ | $K_{ш} = K_3 K_{п} K_{сж}$ | 0,154 |
| Геометрические коэффициенты размера шнека | k_b , k_d , k_h | $k_b = 0,87$, $k_d = 0,51$, $k_h = 1$ |
| Коэффициент шнека C_3 | $C_3 = k_b k_h (1 - k_d) K_{ш}$ | 0,066 |

Окончание табл. 3

| Наименование параметра, размерность | Формула, обозначение параметра | Числовые значения (на весь расчет по формуле (17)) | | |
|---|--|---|----------------------|----------------------|
| Расчетные значения при $A = 45$ и $K_3 = 0,25$ | | К7-ФТГ | ФТГ-1 | ФТГ-2 |
| 1. Диаметр D_n , м формула (16) | $D_p = \left(\frac{4Q}{A}\right)^{0,4} \left(\frac{1}{C_2 C_3}\right)^{0,4}$ | 0,236 | 0,330 | 0,330 |
| 2. Шаг витков шнека, H_p , м | $H_p = k_h D_p$ | 0,236 | 0,330 | 0,330 |
| 3. Диаметр вала шнека, d_p , м | $d_p = k_d D_p$ | 0,120 | 0,168 | 0,168 |
| 4. Частота вращения шнека, об/мин | $n_p = A/(\sqrt{D_p})$ | 92,6 | 78,3 | 78,3 |
| 5. Скорость продукта, v_p , м/с | $v_p = H_p n_p / 60$ | 0,365 | 0,431 | 0,431 |
| 6. Производительность объемная, Q_p , м ³ /с | Q_p , формула (1) | $1,66 \cdot 10^{-3}$ | $3,82 \cdot 10^{-3}$ | $3,82 \cdot 10^{-3}$ |
| 7. Производительность, $Q_{\text{мас.р.}}$, т/ч | $Q_{\text{мас.р.}} = 3,6\rho Q_p$ | 2,863 | 6,602 | 6,602 |

Анализ таблиц показал, что точность расчета по производительности составляет $(6,85 - 6,6)/6,85 = 0,036$, что равно 3,6 % – лучше по сравнению с результатами, полученными в [10]. Объективно же точность вычислений других параметров (D , v , n) в выбранных режимах эксплуатации (по числовым значениям Q и n) можно оценить как приемлемую по той причине, что в расчеты введены геометрические параметры, вычисленные через коэффициенты соотношения размеров k_b , k_d , и k_h к диаметру шнека D .

Разработанные формулы позволяют графически оценить результаты исследований. На рис. 2 и 3 приведены кривые для четырех групп значений A и ϕ , указанных в работе [1, табл. 12.1]. На графиках стрелками указано направление считывания параметров D и v . Так, например, для модели К7-ФТГ-1 расчетная объемная производительность составляет $Q_p = 0,00382$ м³/с (модель ФТГ-1, строка 6, табл. 3) и является исходной для получения численных значений. По этой величине на кривой 3 графика (рис. 2) находим значение диаметра $D = 0,33$ м, а на кривой 3 графика (рис. 3) – значение скорости продвижения материала шнеком, равное $v = 0,43$ м/с. Эти значения параметров соответствуют рассчитанным при $A_3 = 45$ и $\phi_3 = 0,25$, что доказывает правильность построения кривых.

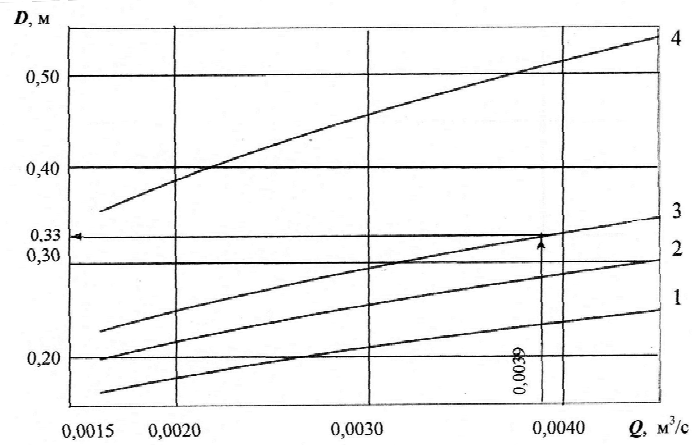


Рис. 2. Наружный диаметр шнека, зависящий от производительности, для четырех групп значений, характеризующих кривыми:

1 – для $A_1 = 65$ и $\varphi_1 = 0,4$; 2 – для $A_2 = 50$ и $\varphi_2 = 0,32$; 3 – для $A_3 = 45$ и $\varphi_3 = 0,25$; 4 – для $A_4 = 30$ и $\varphi_4 = 0,125$

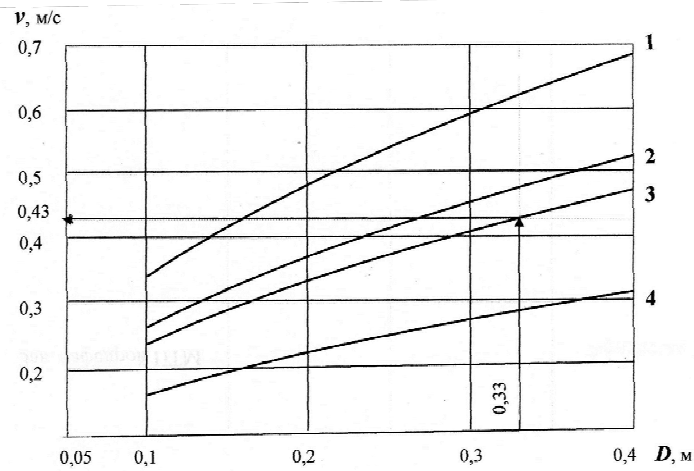


Рис. 3. Скорость продвижения материала в зависимости от диаметра шнека для четырех кривых, характеризующих значениями:

1 – для $A_1 = 65$ и $\varphi_1 = 0,4$; 2 – для $A_2 = 50$ и $\varphi_2 = 0,32$; 3 – для $A_3 = 45$ и $\varphi_3 = 0,25$; 4 – для $A_4 = 30$ и $\varphi_4 = 0,125$

Если полученные по графикам значения величин D и v удовлетворяют разработчика, то расчетом находят другие параметры шнека, используя принятые в начале расчета коэффициенты (формулы (8) и (9)). Если значения D и v не удовлетворяют, то можно повторить расчеты при других значениях коэффициентов. Параметры шнека изменятся соответствующим образом.

Еще одну возможность изменять геометрические размеры шнекового устройства дает изменение частоты вращения шнека (формула (14)). Как показал анализ результатов, расчеты, проведенные по разным значениям частот вращения, дают разные величины диаметров D и других элементов шнеков (что естественно); окончательный выбор частоты вращения зависит от проектировщика. Таким образом, представленные расчетные формулы позволяют варьировать параметры шнека, анализировать и выбирать оптимальные режимы работы для совмещения с режимами работы (параметрами) технологической машины.

ВЫВОДЫ

Представлены формулы для расчета шнековых конвейеров, которые позволяют определять диаметр шнека в зависимости от параметра «производительность» (аргумента). Введенная операция переопределения аргумента и новые формулы позволяют рассчитать параметры шнека, обеспечивающие расхождение не более чем на 3,5 % от заданной величины производительности. Формулы позволяют изменять безразмерные постоянные коэффициенты для следующего цикла расчета и находить новые значения параметров шнека с меньшей величиной расхождения.

Таким образом, операция переопределения аргумента в расчетных формулах шнековых устройств дает следующее.

1. Параметр «производительность» встраивается в расчетные формулы шнекового конвейера в качестве аргумента, и вычисленные с его помощью параметры шнека предполагают такой режим работы конвейера, при котором обеспечивается его согласование с производительностью технологической машины.

2. Факторы, определяющие параметры шнековых устройств, выражены через математические формулы, что позволяет варьировать значения указанных параметров путем изменения численных значений безразмерных коэффициентов, это упрощает анализ результатов изменений.

3. Точность вычислений повышается за счет использования необходимого, но достаточного числа математических факторов, описывающих геометрию шнека, его частоту вращения и уровень нагрузки на шнек от величины производительности при продвижении массы (продукта).

4. Возможность графического представления взаимозависимых параметров шнека с целью наглядного и более быстрого выявления их оптимальных значений.

5. Полученные результаты показывают перспективность данного направления исследований шнековых конвейеров и необходимость их продолжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: учебное пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
2. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
3. Зенков Р.Л. Машины непрерывного транспорта. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.

4. Конвейеры: справочник / под общ. ред. Ю.А. Пертена. – Л.: Машиностроение, 1984. – 367 с.
5. Бобров В.П., Чеканов Л.И. Транспортные и загрузочные устройства автоматических линий: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1980. – 119 с.
6. Адигамов К.С., Байбара С.Н., Черненко Г.В. Транспортирование материалов вертикальным шнековым конвейером / Южно-Российский гос. университет экономики и сервиса. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2012. – 96 с.
7. Однолько В.Г. Проектирование шнекового оборудования предприятий полимерных материалов. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 238 с.
8. Евстратов В.А. Теория шнеконапорной подачи вязкопластичных материалов и совершенствование шнековых модулей горных машин / Северо-Кавказский научный центр высшей школы. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2000. – 160 с.
9. Мусаелянц Г.Г. Разработка и исследование шнековых смесителей непрерывного действия. – Пятигорск: Изд-во ПГТУ, 2008. – 94 с.
10. Хлунова Ю.В., Фомина К.А. Исследование технических параметров шнековых конвейеров (сравнение расчетных величин с ТХ) / науч. рук. В.А. Керженцев // Наука. Технологии. Инновации: материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых, 21–24 ноября 2013 г.: в 10 ч. – Новосибирск, 2013. – Ч. 4. – С. 7–11.
11. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 1: учебник для вузов / под ред. В.А. Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.
12. Технологическое оборудование пищевых производств / под ред. Б.М. Азарова. – М.: Агропромиздат, 1988. – 463 с.
13. Машины и аппараты пищевых производств. В 3 кн. Кн. 1 / под ред. В.А. Панфилова. – М.: КолосС, 2009. – 551 с.
14. Хромеев В.М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 496 с.
15. Оборудование предприятий мясной промышленности: лабораторный практикум для УИРС: учебное пособие / В.И. Ивашов, С.Г. Юрков, В.В. Илюхин, Б.Н. Дуйденко, В.А. Катюхин. – М.: МТИП, 1987. – 79 с.
16. Керженцев В.А., Курсеитов С.И., Курсеитова Э.С. Исследование волчков с учетом мощности, необходимой для переработки мясного сырья // Рыбное хозяйство Украины. – 2008. – № 6 (59). – С. 75–78.
17. Численный расчет и анализ параметров шнековых конвейеров / В.А. Керженцев, Н.В. Перова, А.Н. Бредихина, Н.С. Печоркина // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 232–238.

Керженцев Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – расчетные методики машин пищевых производств. Имеет более 20 публикаций. E-mail: kerzhencev@corp.nstu.ru

Перова Наталья Владимировна, старший преподаватель Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – общее машиностроение. Имеет более 15 публикаций. E-mail: perova@corp.nstu.ru

Improved accuracy of screw conveyor calculations by redefining the independent variable (argument)*

V.A. KERZHENCEV¹, N.V. PEROVA²

¹ Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.), associate professor. E-mail: kerzhencev@corp.nstu.ru

² Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, lecturer. E-mail: perova@corp.mail.ru

In this article the authors give an analysis of the well-known formula for calculating screw conveyor efficiency. The formula analysis is caused by the fact that it gives a mismatch of calculation values with the passport parameters. This mismatch can attain considerable values, which leads to a loss of precision. The causes of these discrepancies between calculation and passport parameters of screw conveyors were determined. These discrepancies are caused by the fact that these formulas are used for high-performance screw conveyors designed for handling large masses of materials (for example, for the transportation of loose food materials or mining and building materials). These discrepancies are also due to a subjective choice in the formulas for calculating various screw parameters depending on a designer's qualification. Therefore, to eliminate the causes of the problem it is necessary to increase the accuracy of calculations. In addition, the authors have found another reason for improving the accuracy of calculations arising when screw devices are embedded in technological machines. The matter is that when screw devices are incorporated in the technological machine structure matching of both device performances is necessary. It is also necessary to make more accurate calculations of screws which are low-performance devices. To solve these problems it is proposed to redefine formula variables using performance as a setting parameter. The performance parameter is embedded in the screw conveyor formulas as an argument. In this case, the screw parameters (diameter and other sizes) become dependent on the specified performance. These factors determining the screw device parameters are expressed by a mathematical formula, which eliminates a subjective selection of specific numerical values. Dimensional accuracy is achieved by taking into account the interconsistency of all parameters, i.e. when one of them varies other parameters also vary proportionally. However, all changes ultimately lead to the value of the specified screw performance matched with the machine technological performance.

Keywords: Screw; screw conveyor; performance; coil diameter; median circumference; frequency rotation; interturn distance; thickness; rate of release

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-4-48-62

REFERENCES

1. Spivakovskii A.O., D'yachkov V.K. *Transportiruyushchie mashiny* [Transporting machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 487 p.
2. Grigor'ev A.M. *Vintovye konveiry* [Screw conveyors]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972. 184 p.
3. Zenkov R.L. *Mashiny nepreryvnogo transporta* [Machines of continuous transport]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 432 p.
4. Perten Yu.A., ed. *Konveiry* [Conveyors]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1984. 367 p.
5. Bobrov V.P., Chekanov L.I. *Transportnye i zagruzochnye ustroystva avtomaticheskikh linii* [Transporting and loading devices of automatic transfer lines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 119 p.
6. Adigamov K.S., Baibara S.N., Chernenko G.V. *Transportirovanie materialov vertikal'nykh shnekovym konveierom* [Transportation the materials by vertical screw conveyor]. Shakhty, YuRSUES Publ., 2012. 96 p.

* Received 01 July 2015.

7. Odnol'ko V.G. *Proektirovanie shnekovogo oborudovaniya predpriyatii polimernykh materialov* [Design of screw equipment of polymer materials]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2005. 238 p.
8. Evstratov V.A. *Teoriya shnekonapornoj podachi vyazkoplastichnykh materialov i sovershenstvovanie shnekovykh modulei gornykh mashin* [Theory of forced feed of viscoplastic materials and improving the screw modules of mining machines]. Rostov-na-Donu, SKNTs VSh Publ. 2000. 160 p.
9. Musaelyants G.G. *Razrabotka i issledovanie shnekovykh smesitelei nepreryvnogo deistviya* [Development and research of screw mixer of continuous action]. Pyatigorsk, PSTU Publ., 2008. 94 p.
10. Khlunova Yu.V., Fomina K.A. [Research of technical parameters shnekovykh of conveyors (comparison of settlement sizes with technical characteristics)]. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh* [Science. Technology. Innovations: materials of the All-Russian scientific conference of young scientists]. Novosibirsk, 21–24 November 2013, pt. 4, pp. 7–11.
11. Panfilov V.A., ed. *Mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv. V 2 kn. Kn. 1* [Machines and devices of food productions. In 2 bk. Bk. 1]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 703 p.
12. Azarov B.M., ed. *Tekhnologicheskoe oborudovanie pishchevykh proizvodstv* [Technological equipment of food production]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988. 463 p.
13. Panfilov V.A., ed. *Mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv. V 3 kn. Kn. 1* [Machines and devices of food productions. In 3 bk. Bk. 1]. Moscow, KolosS Publ., 2009. 551 p.
14. Khromeenkov V.M. *Tekhnologicheskoe oborudovanie khlebozavodov i makaronnykh fabrik* [Technological equipment of bakeries and pasta factories]. St. Petersburg, GIORP Publ., 2004. 496 p.
15. Ivashov V.I., Yurkov S.G., Ilyukhin V.V., Duidenko B.N., Katyukhin V.A. *Oborudovanie predpriyatii myasnoi promyshlennosti* [Equipment of meat industry]. Moscow, MTIPP Publ., 1987. 79 p.
16. Kerzhentsev V.A., Kurseitov S.I., Kurseitova E.S. *Issledovanie volchkov s uchetom moshchnosti, neobkhodimoi dlya pererabotki myasnogo syr'ya* [Research of tops taking into account the power necessary for processing of meat raw materials]. *Rybnoe khozyaistvo Ukrainy – Fishing industry of Ukraine*, 2008, no. 6 (59), pp. 75–78.
17. Kerzhentsev V.A., Perova N.V., Bredikhina A.N., Pechorkina N.S. *Chislennyi raschet i analiz parametrov shnekovykh konveierov* [Numerical calculation and analysis of the parameters of screw conveyors]. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii – Actual Problems in Machine Building*, 2015, no. 2, pp. 232–238.