

УДК 614.847.21

И. Ф. ДАДАШОВ, А. А. КОВАЛЁВ

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДИКИ РАСЧЁТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЖЕКЦИОННОГО АППАРАТА ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ ПОЖАРОТУШЕНИИ**

Определены тактико-технические требования и предложена конструкция эжекционного аппарата для подачи гранулированного пеностекла для использования в технологии тушения горячих резервуаров хранения легковоспламеняющихся горючих жидкостей с использованием гелеобразующих огнетушащих и огнезащитных составов. Основываясь на известных методиках расчета конструктивных параметров струйных аппаратов, проведен теоретический анализ работы эжекционного аппарата для подачи гранулированного пеностекла предложенной конструкции, а также и предложена методика расчета его конструктивно-технологических параметров, что позволило создать опытно-экспериментальный образец.

**Ключевые слова:** эжекционный аппарат, производительность, конструкция, методика расчёта, шнековый механизм, расход, диаметр, мощность.

Визначені тактико-технічні вимоги та запропонована конструкція ежекційного апарату для подачі гранульованого піноскла для використання в технології гасіння пожеж на резервуарах зберігання легкозаймистих горючих рідин з використанням гелеобразующих огнегасящих і огнезахисних композицій. Базуючись на відомих методиках розрахунку конструктивних параметрів струменевих апаратів, проведений теоретичний аналіз роботи ежекційного апарату для подачі гранульованого піноскла запропонованої конструкції, а також і запропонована методика розрахунку його конструктивно-технологічних параметрів, що дозволило створити його дослідно-експериментальний зразок.

**Ключові слова:** Ежекційний апарат, продуктивність, конструкція, методика розрахунку, шнековий механізм, витрата, діаметр, потужність.

The problem of extinguishing flammable combustible liquids is one of the most complicated in firefighting these fires cause significant economic and environmental damage and often lead to human casualties. Analysis showed the existing means and methods for extinguishing fires data provide a reasonably good result only for relatively small-size tanks of flammable liquids, combustibles. To extinguish fires data, we previously proposed to use gel-forming fire extinguishing and fire retardant compositions, which represent a binary system consisting of two separately stored and separately - simultaneously supplied formulations. To solve the problem of positive buoyancy layers of gelled compositions, it proposed to use granular foamed glass - non-flammable, non-volatile material, and as a device for supplying the granular foam glass we proposed to use an air ejection apparatus, the supply of foam glass granules via hose lines to the burning surface. The article defines the tactical and technical requirements and the proposed construction of an ejection apparatus for supplying granulated foamed glass. Based on the known methods for calculating the design parameters of jet devices, carried out a theoretical analysis of the ejection apparatus for supplying granulated foamed glass of the proposed design, as well as the design procedure of its structural and technological parameters, thereby creating Experimental sample for laboratory experimental research.

**Keywords:** ejection apparatus, performance, engineering design, method of calculation, auger mechanism, consumption, diameter, power.

**Введение.** Ежегодно Украина потребляет более 20 млн. т. нефти и продуктов её переработки [1], что предполагает содержание достаточно большого резервуарного парка страны создающего значительную техногенную и пожарную опасность. Проблема тушения горючих нефтепродуктов является одной из сложнейших в пожаротушении, данные пожары наносят значительный экономический и экологический ущерб и зачастую приводят к человеческим жертвам. Наибольшие трудности представляет тушение пожаров на резервуарах больших объёмов, предназначенных для хранения легковоспламеняющихся горючих жидкостей (ЛГЖ) [2], ликвидация данных пожаров может занимать длительное время даже при полном выполнении всех нормативных требований и правил [3, 4].

При тушении ЛГЖ нужно не только обеспечить прекращение горения, но и создать условия, обеспечивающие длительное недопущение повторного воспламенения. Например, ЛГЖ может самовоспламениться от нагретой стенки или конструкций резервуара. В отличие от тушения большинства твердых горючих материалов создать такие условия только охлаждением поверхности жидкости до температуры окружающей среды практически невозможно, так как температуры воспламенения легкокипящих жидкостей зачастую ниже температуры окружающей среды, поэтому ЛГЖ легко повторно воспламеняются даже от относительно слабых тепловых источников. Исходя из условий проведения пожаротушения, разработка новых и совершенствование существующих способов

тушения ЛГЖ проводится исходя из принципа изоляции их поверхности.

В настоящее время, для тушения ЛГЖ наибольшее распространение получили воздушно-механические пены [4], также могут применяться порошковые средства пожаротушения, хладоны, углекислота.

Огнетушащие пены обеспечивают достаточно длительную изоляцию поверхности горючей жидкости от газовой фазы, в которой происходит процесс горения, однако они имеют ряд недостатков:

- малая устойчивость пен обусловленная действием интенсивных тепловых потоков исходящих от пламени горячей жидкости, а также контактом пены с рядом горючих жидкостей, особенно полярных;
- унос пены конвективными потоками продуктов горения;
- пены трудно подать на большие расстояния;
- токсичность и экологическая опасность поверхностно-активных веществ (ПАВ), входящих в состав пенообразователей.

Для порошковых средств и хладонов основной вклад в тушение ЛГЖ вносит эффект ингибирования. Углекислота, применяемая для тушения ЛГЖ, в основном реализует охлаждающе-разбавляющий механизмы прекращения горения.

Анализ существующих средств пожаротушения ЛГЖ, показал, что данные средства и способы обеспечивают достаточно хороший результат в случае относительно небольших по размерам резервуаров с ЛГЖ. Для устранения большинства из перечисленных

И. Ф. Дадашов, А. А. Ковалёв

недостатков воздушно-механических пен, для тушения ЛГЖ, ранее в наших работах было предложено использовать гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные составы (ГОС) [5, 6].

ГОС представляют собой бинарную систему, состоящую из двух отдельно хранимых и отдельно - одновременно подаваемых составов. Оба состава являются водными растворами, что облегчает их хранение и подачу в зону горения, обеспечивая при этом высокое охлаждающее действие благодаря наличию в их составе воды. Компоненты раствора подобраны таким образом, чтобы при их смешении образовывался нетекущий слой геля.

Здесь также необходимо отметить, что все компоненты ГОС являются веществами нерастворимыми в углеводородных горючих жидкостях. Этот факт важен для переработчиков нефти и нефтепродуктов, так как компоненты предложенной огнетушащей системы не загрязняют соответствующие жидкости, что облегчает их дальнейшую переработку и использование. Однако непосредственно использовать ГОС для тушения горючих жидкостей невозможно, так как гель тонет в большинстве ЛГЖ. Для решения проблемы положительной плавучести гелеобразных слоёв необходимо либо уменьшить плотность гелеобразного слоя, либо подобрать легкий носитель для слоя геля, на котором будет он формироваться.

Попытки получить газонаполненный гель путем совмещения газообразующих реакций и процесса гелеобразования не дали положительных результатов [7]. Несколько лучшие результаты дало нанесение слоя геля на поверхность пены. Однако и в этом случае максимальное время плавучести геля не превышало 15 минут. Положительные результаты дали опыты по формированию слоя геля на поверхности сплошного слоя пористых гранулированных неорганических материалов, таких как вспученные перлит и вермикулит, пеностекло и керамзит [6, 7]. Причём в случае применения некоторых видов пеностекла и керамзита образовавшийся бинарный слой оставался стабильным на поверхности бензина более 10 суток.

На основании анализа комплекса свойств, включающих экономические, экологические и технические параметры, в качестве легкого носителя нами было выбрано гранулированное пеностекло – негорючий, нелетучий материал, разрешенный к использованию как утеплитель в жилищном строительстве. В качестве устройства для подачи гранулированного пеностекла нами предложено использовать воздушный эжекционный аппарат, подающий гранулы пеностекла с помощью рукавных линий на горящую поверхность ЛГЖ.

**Анализ литературных данных и постановка проблемы.** На основании анализа литературных источников струйные эжекционные аппараты для транспортировки твёрдых сыпучих, различаются по принципу действия: непрерывного и периодического (циклического), а также по способу передачи энергии сухой смеси: пневматические; механические.

Исходя из задач, поставленных перед эжекционным аппаратом подачи пеностекла (ЭАПП), условий проведения пожаротушения ЛГЖ с использованием

ГОС и теории эжекционных аппаратов, необходимо провести анализ теории и обосновать конструкцию и методику расчёта конструктивно-технологических параметров ЭАПП удовлетворяющего следующим требованиям:

- Непрерывность действия: может быть достигнута путем введения узла питания, дозирования, ворошения пеностекла в виде винтовой поверхности (шнека).

- Эффективную подачу пеностекла с использованием сжатого воздуха по резиноканевым рукавам-материалопроводам на расстояние до 75 м.: необходимо для обеспечения эффективной подачи и многослойного нанесения пеностекла на горящую поверхность ЛГЖ, проводимую на высоте с использованием спецтехники (автолестница, коленчатый подъёмник). В зависимости от размера фракций пеностекла, внутренний диаметр материалопроводов может быть принят от 38 до 68 мм.

- Малогабаритность: необходимо для удобства размещения, перевозки, быстрого оперативного развёртывания и эффективного использования при минимальном числе задействованных пожарных-спасателей.

В соответствии с вышеизложенным, предлагается конструкция ЭАПП основными элементами которого будут являться (рис. 1): расходный бункер пеностекла; полый шнековый дозатор-питатель; рабочее сопло шнекового дозатора-питателя; приводная часть шнекового дозатора-питателя; ворошитель-питатель пружинного типа; конфузур; камера смешения (разгонная трубка); диффузор; фланец подключения рукавной линии материалопровода.

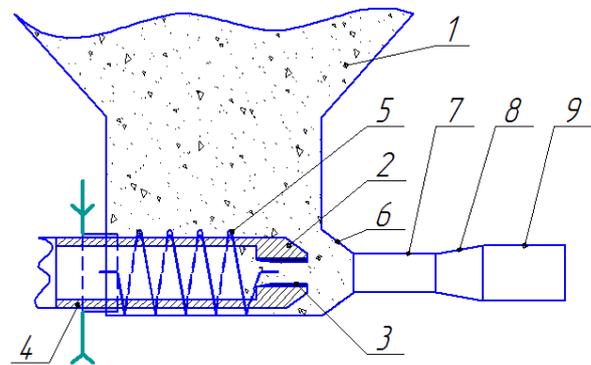


Рис. 1 – Схема эжекционной установки: 1 – расходный бункер пеностекла; 2 – полый шнековый дозатор-питатель; 3 – рабочее сопло шнекового дозатора-питателя; 4 – приводная часть шнекового дозатора-питателя; 5 – ворошитель-питатель пружинного типа; 6 – конфузур; 7 – камера смешения (разгонная трубка); 8 – диффузор; 9 – фланец подключения рукавной линии материалопровода

Непосредственная работа ЭАПП заключается в следующем: В расходный бункер загружается гранулированное пеностекло. Подача гранулированного пеностекла в конфузур осуществляет шнековый дозатор-питатель, который получает осевое вращение при помощи понижающей механической передачи, установленной на приводной части шнекового дозатора-питателя, приводимой во вращение пневматиче-

ским двигателем, при этом приводная часть шнекового дозатора-питателя жестко связана с ворошителем-питателем пружинного типа.

Подача сжатого воздуха с давлением примерно 0,5 Мпа осуществляется пневматическим компрессором через полый шнековый дозатор-питатель в эжекционную смесительную камеру, при этом гранулы пеностекла, приведенные во взвешенное состояние ворошителем-питателем, направляются к конфузору. Ввиду наличия разрежения в конфузоре, гранулы пеностекла засасываются в смесительную камеру и далее транспортируются по материалопроводу к зоне горения ЛГЖ. Необходимо учесть, что устойчивый режим работы ЭАПП во многом будет зависеть от чистоты, фракционного состава и влажности пеностекла, которая не может превышать 4...5 %.

Цель работы: провести теоретический анализ работы ЭАПП предложенной конструкции для использования при тушении горячих резервуаров ЛГЖ с использованием ГОС и предложить методику расчёта его конструктивно-технологических параметров.

**Теоретический анализ работы и определение конструктивно-технологических параметров эжекционного аппарата подачи гранулированного пеностекла.** Эффективность работы ЭАПП будет зависеть от физико-механических параметров сухой смеси пеностекла и условий ее подачи, которые в свою очередь зависят от конструктивных параметров узлов машины. Поэтому при проектировании ЭАПП, наряду с определением типа энергоносителя, необходимо рассчитывать конструктивные и режимные параметры ЭАПП.

Известен ряд работ посвященных систематизации методов расчета струйных аппаратов, где был дан вывод зависимостей для определения основных размеров струйного аппарата при заданных расчетных условиях [8–11]. В большинстве опубликованных работ, рассматриваются потоки, смешиваемые в аппаратах, которые находятся в одной и той же фазе и значительно меньше посвящено работ исследованиям потоков в разных фазах, например, сжатый воздух – твердое тело при транспортировании по материальным трубопроводам на некоторую дальность.

В работах [12–16] под руководством авторов проведены теоретические и экспериментальные исследования большинства типов струйных аппаратов, применяющихся на практике, а также приводятся методики расчета основных размеров струйных аппаратов и вывод уравнений для определения их рабочих характеристик. Исследования показали, что расчет струйных аппаратов с цилиндрической камерой смешения и работающих с потоками сред находящихся в одной фазе, можно полностью базировать на теоретических уравнениях, где опытными величинами являются коэффициенты скорости проточной части. Для аппаратов с различным агрегатным состоянием рабочего и эжектируемого потоков необходимо применять уравнения, частично построенные на эмпирических зависимостях.

Для проведения натуральных испытаний технологии тушения горячих резервуаров ЛГЖ с использованием ГОС, необходимо создать масштабную экспе-

риментальную модель ЭАПП, для этого требуется произвести расчет следующих конструктивных параметров ЭАПП: объемный и весовой расход энергоносителя, диаметр рабочего сопла подачи энергоносителя в эжектор, диаметр камеры смешения, длина свободной струи, от срезанного сопла до начала камеры смешения, а также произвести расчёт винтового шнекового механизма подачи частиц пеностекла.

Методику расчета конструктивных параметров ЭАПП целесообразно основывать на методиках расчета конструктивных параметров струйных аппаратов предложенных основоположниками теорий эжекционной подачи сухих материалов профессорами А. Я. Милевичем, Г. Н. Абрамовичем, Б. Э. Фридманом, В. И. Акуновым и др. Исходными условиями и данными для расчёта ЭАПП будут являться:

1. Требуемая производительность ЭАПП ( $P_M$ ) – из условий проведения пожаротушения горящих ЛГЖ подача пеностекла должна составлять  $10 \text{ м}^3/\text{мин}$ . т. к. целесообразно создать на горячей поверхности ЛГЖ слой пеностекла толщиной от 30 мм. до 60 мм., при средней площади зеркала ЛГЖ  $400,1 \text{ м}^2$  (в качестве среднего значения площади зеркала ЛГЖ принят резервуар РВС-5000).

2. Параметры энергоносителя – в качестве энергоносителя принят сжатый атмосферный воздух.

На основании анализа работ [10, 17–20], можно предложить следующий расчёт параметров энергоносителя используемого в ЭАПП.

Объемный расход энергоносителя:

$$Q = 1,88 P_O \quad (1)$$

где  $P_O$  – объемная подача сухого материала  $\text{м}^3/\text{мин}$ , 1,88 – эмпирический коэффициент

Весовой расход энергоносителя:

$$G_B = 1,45 P_B \quad (2)$$

где  $P_B$  – весовая подача сухого материала  $\text{кг}/\text{мин}$ , 1,45 – эмпирический коэффициент

Диаметр рабочего сопла подачи энергоносителя в эжектор [21]:

$$d_C = 0,475 \sqrt{G_s} \quad (3)$$

где  $G_B$  – Весовой расход энергоносителя, 0,475 – эмпирический коэффициент

Диаметр камеры смешения:

$$d_{KC} = 1,62 \sqrt{P_M} \quad (4)$$

где  $P_M$  – производительность ЭАПП, 1,62 – эмпирический коэффициент

Длина камеры смешения по Б. Э. Фридману и В. И. Акунову:

$$L_{KC} = d_c, \\ L_{KC} = 122 + 2,36 \cdot (d_{KC} - d_C) \quad (5)$$

где  $L_{KC}$  – длина камеры смешения;  $d_c$  – диаметр рабочего сопла;  $d_{KC}$  – диаметр камеры смешения; 122 и 2,36 – эмпирические коэффициенты.

Длина свободной струи, от срезанного сопла до начала камеры смешения, по А. Я. Милевичу равна:

$$A = 6 \cdot d_c \quad (6)$$

где  $d_c$  – диаметр рабочего сопла; 6 – эмпирический коэффициент

Длина цилиндрической части камеры смешения:

$$L_{ЦС} = 5 \dots 6 d_c \quad (7)$$

где  $d_c$  – диаметр рабочего сопла

Полуугол разлета воздушной струи из рабочего сопла шнекового дозатора-питателя:

$$\alpha = K \cdot \left(1 \pm \frac{d_c}{V}\right) \quad (8)$$

где  $d_c$  – диаметр рабочего сопла;  $V$  – скорость воздушного потока;  $K$  – коэффициент, зависящий от конструктивно-геометрических параметров сопла: при истечении цилиндрической струи  $K = 0,9$ ; при истечении ассиметричной струи из сопла  $K = 0,8$ ; при истечении конической осесимметричной струи из сопла:  $K = 1,4$ .

Длина начального участка (потенциального ядра) свободной струи согласно расчётам равна:

$$l_n = \frac{d_c}{2 \operatorname{tg} \alpha_1} \approx (1 \dots 1,5) d_c \quad (9)$$

где  $d_c$  – диаметр рабочего сопла;  $\alpha$  – полуугол разлета воздушной струи из рабочего сопла шнекового дозатора-питателя

Конструктивное требование непрерывности действия ЭАПП может быть достигнуто при использовании шнекового механизма, который совмещает во времени транспортирование фракций пеностекла в воздушную камеру смешения и при этом разделяет зону высокого давления от атмосферного, т.е. образуется перепад давления между системой питания и транспортирования.

В предложенной конструкции ЭАПП, фракции пеностекла выходят из корпуса цилиндрического шнека сплошным цилиндром (пробка), который необходимо разрыхлить, привести во взвешенное состояние, что способствует транспортированию смеси гранул пеностекла по материалопроводу. Противодействие сжатого воздуха в смесительной камере, обеспечивается «пробковым» механизмом, который разделяет зону высокого давления от атмосферного. Данный процесс достаточно подробно описан в работах Быкова П.Н. и других исследователей [22, 23].

В классической конструкции эжекционного аппарата, как такового «пробкового» механизма не существует, поэтому для организации транспортирования пеностекла на требуемую дальность, возможным технологическим решением также является организация работы эжекционного узла под давлением дополнительно подводимого сжатого воздуха [24, 25]. Данная конструкционная схема предполагает на наш взгляд усложнение конструкции ЭАПП, за счёт наличия закрытого бункера пеностекла, что в свою очередь не допускает непрерывность действия. Рассмотренное техническое решение, также не может быть

оправдано, т.к. при транспортных материальных трубопроводах диаметром 38...50 мм достигнуть дальности подачи пеностекла более 15 м практически невозможно при давлении сжатого воздуха 0,3...0,5 МПа.

Поэтому для транспортирования сухих компонентов смеси с объемной плотностью готового продукта 400...600 кг/м<sup>3</sup> и менее, наиболее рациональным техническим решением, является размещение в эжекционной камере ЭАПП специального ворошителя-питателя, способствующего поддержанию пеностекла во взвешенном состоянии и подаче (транспортированию) его через конфузор и разгонную трубку.

Для организации максимально эффективной работы ЭАПП, также требуется решение задачи по установлению взаимосвязи механического ворошителя-питателя с эжектором по производительности. В противном случае возможно заклинивание эжектора или работа ЭАПП с недогрузом. Для этого рассмотрим методику расчета винтового шнекового механизма ЭАПП.

Методику расчёта конструктивных параметров ворошителя-питателя пружинного типа ЭАПП, целесообразно основывать на известных методах расчета винтовых шнековых механизмов, так в работе [26] приводится теоретически обоснованная методика расчета мощности, потребляемой винтовым конвейером. Эта методика основывается на зависимостях, полученных при рассмотрении движения материальной частицы, опирающейся на винтовую поверхность и прижатую к стенке кожуха. Рассматривается общий случай – расположения оси винтового конвейера под углом к горизонту [27–29]. Данная теория расчета винтового шнекового механизма рассматривается применительно к конструкции винтового конвейера с неподвижным кожухом и подвижной винтовой поверхностью. Автором получена система дифференциальных уравнений, которая описывает неравномерное движение с изменяющейся угловой скоростью движения частицы относительно винтовой поверхности.

$$\left\{ \begin{array}{l} N_b \cos \alpha - f_b N_b \sin \alpha - m a \left( \frac{d^2 \phi r}{dt^2} \right) - mg \cos \gamma - f_k N_k \sin \beta = 0 \\ mg \cos \gamma \sin \varepsilon + f_k N_k \cos \beta - f_b N_b \cos \alpha - N_b \sin \alpha - m R \left( \frac{d^2 \phi r}{dt^2} \right) = 0 \\ mg \cos \gamma \cos \varepsilon + m R \omega_0^2 + m R \left( \frac{d \phi r}{dt} \right)^2 - N_k - 2 m R \omega_0 \left( \frac{d \phi r}{dt} \right) = 0 \end{array} \right. \quad (11)$$

где  $N_b$ ,  $N_k$  – нормальные реакции винтовой поверхности и кожуха соответственно;  $f_b$ ,  $f_k$  – коэффициенты трения сухой смеси о винтовую поверхность и о внутреннюю поверхность камеры смешения, соответственно;  $R$  – наружный радиус винтовой поверхности, м;  $\omega_0$  – угловая скорость вращения винтовой поверхности, рад/с.;  $m$  – масса материальной частицы, кг;

$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{S}{2\pi r}$  – угол подъема винтовой линии по радиусу  $r$ , град;  $S$  – шаг винтовой поверхности, м;  $\phi r$  –

угол проскальзывания (угол, на который отклоняется материальная частица относительно винтовой поверхности при вращении ее с постоянной скоростью

$w_0$ ), град;  $\varepsilon$  – угол, определяющий положение частицы относительно вертикальной плоскости, град;  $\gamma$  – угол наклона оси вала конвейера к вертикали, град;  $\alpha = R \operatorname{tg} \alpha$  – параметр конвейера, град;  $\beta$  – угол между векторами переносной и абсолютной скоростей, град.

Отмечается, что решение данной системы дифференциальных уравнений в общем виде не может быть найдено, на основании приведенных расчетов, осуществленных численными методами, автор утверждает, что неустановившееся движение в конвейере (с изменяющейся угловой скоростью абсолютного движения) является кратковременным. Уже по истечении нескольких секунд или долей секунд движение становится устойчивым, с постоянными значениями средней осевой скорости и абсолютной угловой скорости вращательного движения.

При этом угловая скорость относительного движения материальной частицы определяется выражением:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\phi_0 \cos \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} = \text{const} \quad (12)$$

где  $\alpha$  – угол подъема винтовой линии по радиусу  $r$ , град;  $\beta$  – угол между векторами переносной и абсолютной скоростей, град.

Из системы уравнений следует, что нормальные реакции винтовой поверхности  $N_b$  и  $N_k$  кожуха равны

$$N_b = \frac{mg(\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta)}{f_b \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)} \quad (13)$$

$$N_k = \frac{mg(\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta) (\cos \alpha - f_b \cos \alpha)}{f_k \sin \beta (f_b \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta))} - \frac{mg \cos \gamma}{f_2 \sin \beta} \quad (14)$$

где  $f_b, f_k$  – коэффициенты трения сухой смеси о винтовую поверхность и о внутреннюю поверхность камеры смешения, соответственно;  $m$  – масса материальной частицы, кг;  $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{S}{2\pi r}$  – угол подъема вин-

товой линии по радиусу  $r$ , град;  $\varepsilon$  – угол, определяющий положение частицы относительно вертикальной плоскости, град;  $\gamma$  – угол наклона оси вала конвейера к вертикали, град;  $\alpha = R \operatorname{tg} \alpha$  – параметр конвейера, град;  $\beta$  – угол между векторами переносной и абсолютной скоростей, град.

Представленные зависимости соответствуют горизонтальному положению конвейера при  $\gamma = 90^\circ$ .

В соответствии с теоретическим походом и методикой расчёта мощности винтового шнекового механизма, затрачиваемой на перемещение сухой смеси предложенной профессором Григорьевым А.М., суммарная мощность, винтового шнекового механизма ЭАПП определяется следующим выражением:

$$P = P_1 + P_2 + P_3. \quad (15)$$

где  $P_1$  – мощность требуемая на преодоление сил инерции, возникающих при изменении скорости движения сухой смеси от 0 до  $V_a$  (где  $V_a$  – абсолютная скорость движения сухой смеси, м/с);  $P_2$  – мощность требуемая на преодоление сил трения сухой смеси о внутреннюю поверхность смесительной камеры;  $P_3$  – мощ-

ность требуемая на перемещение груза вдоль оси винта и преодоление сил трения о винтовую поверхность.

Составляющие определяются выражениями:

$$P_1 = \frac{QV_a^2}{270g} \quad (16)$$

где  $Q$  – производительность конвейера, т/ч.;  $V_a$  – абсолютная скорость движения сухой смеси, м/с

$$P_2 = \frac{f_k N_k V_a}{75} \quad (17)$$

где  $f_k$  – коэффициенты трения сухой смеси о внутреннюю поверхность камеры смешения;  $N_k$  – нормальная реакция поверхности кожуха;  $V_a$  – абсолютная скорость движения сухой смеси, м/с

$$P_3 = \frac{F_{\text{цд}} D_{\text{цд}} (w_0 - w_2)}{150} + \frac{F_0 D_{\text{цд}} (w_0 - w_2)}{150} \quad (18)$$

где  $F_{\text{цд}} = mg \sin \delta \operatorname{tg}(\alpha_0 + \phi_1)$  – движущая сила, касательная к окружности, проходящей через центр давления груза на винтовую поверхность, Н;  $F_0 = N_k \sin \theta \operatorname{tg}(\alpha_0 + \phi_1)$  – окружная сила на наружной кромке винта, Н;  $w_2 = \frac{2V_2}{D}$  – угловая скорость

движения груза, рад/с;  $D_{\text{цд}} = (0,7 - 0,8) D$  – диаметр окружности, проходящей через центр давления груза на винтовую поверхность шнека, м, где  $D$  – наружный диаметр винтовой поверхности, м;  $m$  – масса груза, находящегося в кожухе конвейера, кг;  $\delta$  – угол наклона оси конвейера к горизонту, град;  $f_2$  – коэффициент трения;

Угол подъема винтовой линии, проходящей через центр давления груза на винтовую поверхность шнека ( $\alpha_{\text{цд}}$ ) и угол трения груза о поверхность шнека ( $\phi_b$ ) можно установить по следующим зависимостям:

$$\alpha_{\text{цд}} = \operatorname{arctg} \frac{S}{\pi D_{\text{цд}}}, \text{ град};$$

$$\phi_b = \operatorname{arctg} f_b, \text{ град}.$$

Таким образом, можно предложить следующую зависимость для расчета конструктивных параметров ворошителя-питателя пружинного типа ЭАПП, базируется на существующих методиках расчета винтового шнекового механизма [30-32].

Мощность на валу винтового ворошителя-питателя:

$$P = \frac{Q_{\text{ВК}}}{367} \cdot (LW + H), \text{ кВт} \quad (19)$$

где  $Q_{\text{ВК}}$  – производительность винтового конвейера, т/ч.;  $L$  – длина транспортирования, м;  $W$  – коэффициент сопротивления движению, м;  $H$  – высота подъема груза, м.

Значение коэффициента  $W$  рекомендуется принимать в пределах от 1,5 до 4. Значение  $W = 4$  следует принимать для тяжелых абразивных материалов, таких как цемент, гипс, шамот, известь, песок; для пестекла значение  $W = 1 - 1,5$ .

В результате теоретической проработки тактико-технических требований и конструкции ЭАПП, автором создан опытно-экспериментальный образец ЭАПП



Рис. 2 – Опытно-экспериментальный образец ЭАПП

**Обсуждение результатов исследования теории работы и определения конструктивно-технологических параметров ЭАПП.** Проведенный в статье анализ существующих методик расчета конструктивных параметров эжекторных аппаратов показал, что известные методики расчетов во многом базируются на экспериментальных данных и не учитывают физико-механических свойств транспортируемого материала, поэтому для дальнейшего проведения исследований конструкции и схем работы ЭАПП, необходимо провести экспериментальные исследования работы созданного автором опытно-экспериментального образца ЭАПП. Полученные, в лабораторных условиях, результаты экспериментальных исследований работы опытно-экспериментального образца ЭАПП и анализ их результатов, позволит проверить и при необходимости уточнить полученные автором аналитические зависимости работы ЭАПП.

Учитывая применение ЭАПП для целей пожаротушения, научный и практический интерес также вызывает пропорциональный состав и поведение двухфазного воздушно-материального потока «воздух-пеностекло» при его движении по рукавным материалопроводам, а также при подаче на горящую поверхность ЛГЖ, что требует проведения дальнейших аналитических и экспериментальных исследований.

Таким образом, для дальнейшей проработки конструкции ЭАПП необходимо получить результаты экспериментальных исследований работы опытно-экспериментального образца ЭАПП, на которых будет основываться создание опытно-промышленного образца ЭАПП, что в свою очередь позволит провести его натурные экспериментальные исследования в условиях пожаротушения ЛГЖ.

#### Выводы

1. Для тушения горючих жидкостей предложено использовать гелеобразующие огнетушащие системы, при этом в качестве лёгкого носителя, обеспечивающего плавучесть огнетушащего слоя геля на поверхности горючей жидкости, предложено использовать экологически безопасный материал – гранулированное пеностекло.

2. Исходя из поставленных задач и условий проведения пожаротушения с использованием ГОС определены требования к конструкции ЭАПП, при этом установлено, что подача пеностекла должна составлять не менее  $10 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

3. Разработана конструкция ЭАПП и методика расчёта её конструктивно-технологических параметров: объёмный расход энергоносителя; весовой расход энергоносителя; диаметр рабочего сопла подачи энергоносителя в эжектор; диаметр камеры смешения; длина свободной струи, от срезанного сопла до начала камеры смешения; параметры винтового шнекового механизма

4. Недостаточная изученность механики процессов, происходящих при движении компонентов сухой смеси как в ЭАПП, так и в системе материалопроводов, а также ограниченный объём и номенклатура методик вызывает необходимость проведения

дополнительных аналитических и экспериментальных исследований ЭАПП. Что позволит эффективнее решать вопросы тушения резервуаров ЛГЖ в достаточ-

но сложных условиях при выполнении работ в труднодоступных местах, где габаритные размеры ЭАПП имеют одно из важных значений.

#### Список литературы:

1. Статистический ежегодник «Украина в цифрах» [Текст]. – Государственный комитет статистики Украины. – К., 2014. – 600 с.
2. Шараварников, А. С. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов [Текст] / А. С. Шараварников, В. П. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шараварников. – М.: Калан, 2002. – 448 с.
3. Антонов, А. В. Вогнегасні речовини [Текст]: посібник / А. В. Антонов, В. О. Боровиков, В. П. Орел та ін. – К.: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
5. Боровиков, В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти та нафтопродуктів [Текст] / В. Боровиков // Пожежна та техногенна безпека. – 2015. – № 11 (26). – С. 28–29.
6. Дадашов, И. Ф. Моделирование изолирующих свойств гелеобразного слоя по отношению к парам горючих жидкостей [Текст] / И. Ф. Дадашов, А. А. Киреев, А. Я. Шаршанов, А. А. Чернуха // Проблемы пожарной безопасности. – 2016. – Вып. 40. – С. 78–83.
7. Дадашов, И. Ф. Повышение эффективности тушения горючих жидкостей в резервуарах путем использования гелеобразующих средств [Текст] / И. Ф. Дадашов, А. А. Киреев // Proceedings of Azerbaijan state marine academy. – 2016. – № 2. – С. 72–76.
8. Дадашов, И. Ф. Выбор лёгкого силикатного носителя для гелевого огнетушащего слоя при пожаротушении [Текст] / И. Ф. Дадашов, Л. А. Михеенко, А. А. Киреев // Керамика: наука и жизнь. – 2016. – № 2 (31). – С. 44–51.
9. Аронс, Г. А. Струйные аппараты [Текст] / Г. А. Аронс. – М.: Госэнергоиздат, 1948. – 269 с.
10. Каменев, П. Н. Гидроэлеваторы в строительстве [Текст] / П. Н. Каменев. – М.: Стройиздат, 1970. – 169 с.
11. Келлер, С. Ю. Инжекторы [Текст] / С. Ю. Келлер. – М.: Машгиз, 1976. – 208 с.
12. Шумелишский, М. Г. Эжекторные холодильные машины [Текст] / М. Г. Шумелишский. – М.: Госторгиздат, 1961. – 261 с.
13. Берман, Л. Д. К выбору рационального профиля проточной части струйного аппарата [Текст] / Л. Д. Берман // Изв. ВТИ. – 1976. – № 3. – С. 13–18.
14. Берман, Л. Д. Экспериментальное исследование водоструйного эжектора [Текст] / Л. Д. Берман, Г. Н. Ефимочкин // Теплоэнергетика. – 1968. – № 9. – С. 9–14.
15. Берман, Л. Д. Расчетные зависимости для водоструйных эжекторов [Текст] / Л. Д. Берман, Г. Н. Ефимочкин // Теплоэнергетика. – 1964. – № 7. – С. 44–48.
16. Берман, Л. Д. Влияние длины камеры смешения на режим работы и экономичность водоструйного эжектора [Текст] / Л. Д. Берман, Г. Н. Ефимочкин // Теплоэнергетика. – 1978. – № 12. – С. 66–71.
17. Каменев, П. Н. Гидроэлеваторы в строительстве [Текст] / П. Н. Каменев. – М.: Стройиздат, 1970. – 169 с.
18. Акунов, В. И. Струйные мельницы. Элементы теории и расчета [Текст] / В. И. Акунов. – М.: Машгиз, 1962. – 264 с.
20. Абрамович, Г. Н. Турбулентное смешение газовых струй [Текст] / Г. Н. Абрамович. – М.: Наука, 1974. – 287 с.
21. Аронс, Г. А. Струйные аппараты [Текст] / Г. А. Аронс. – М.: Госэнергоиздат, 1948. – 269 с.
22. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика [Текст] / Г. Н. Абрамович. – М.: Наука, 1979. – 824 с.
23. Дилгер, У. Оборудование для механизации и переработки сухих и строительных смесей «М-тес» [Текст] / У. Дилгер // Строительные материалы. – 2005. – № 1. – С. 62–63.
24. Гастерштадт, Т. И. Пневматический транспорт [Текст] / Т. И. Гастерштадт. – Л.: изд. Сев. Зап. обл. промбюро ВСНЗ, 1927. – 126 с.
25. Гринева, К. М. Пневматический транспорт в цементной промышленности [Текст] / К. М. Гринева, М. И. Крашенинников, А. П. Кротков. – М.: Промстройиздат, 1981. – 183 с.
26. Пат. № 2117123 С1 Российская Федерация. Торкрет-машина с непрерывной загрузкой. МПК 6Е04 F21/12 [Текст] / Азимов Ф. И., Абдуллин К. Ф.; заявитель и патентообладатель Казань. Казан, гос. архит.-строит. академия. – № 96112501/03; заявл. 19.06.1996; опубл. 08.10.1998; Бюл. № 30. – 3 с.
27. Пат. № 2140504 С1 Российская Федерация. Торкрет-машина. МПК 6Е04 F21/12 [Текст] / Азимов Ф. И., Азимов Ю. И., Абдуллин К. Ф.; заявитель и патентообладатель Казань. Казан, гос. архит.-строит. академия. – № 97111597/03; заявл. 14.07.1997; опубл. 27.10.1999; Бюл. № 28. – 4 с.
28. Григорьев, А. М. Винтовые конвейеры [Текст] / А. М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
29. Башкатов, Д. Н. Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин [Текст] / Д. Н. Башкатов. – М.: Недра, 1968. – 192 с.
30. Григорьев, А. М. Элементы теории винтовых конвейеров [Текст] / А. М. Григорьев // Труды КХТИ. – 1957. – Вып. 22. – С. 40–43.
31. Гутьяр, Е. М. Элементарная теория вертикального винтового транспортера [Текст] / Е. М. Гутьяр. – М.: Труды (МИМЭСХ) Московского ин. механизации и электрификации сельского хозяйства, 1968. – 186 с.
32. Григорьев, А. М. К исследованию горизонтального шнека [Текст] / А. М. Григорьев // Труды КХТИ. – 1957. – Вып. 22. – С. 18–24.
33. Никифоров, М. Е. О работе шнека с горизонтальной и наклонной осями [Текст] / М. Е. Никифоров // Труды КХТИ. – 1967. – Вып. 23. – С. 14–16.
34. Никифоров, М. Е. К вопросу о теории вертикального шнека [Текст] / М. Е. Никифоров, А. М. Григорьев // Торфяная промышленность. – 1988. – № 1. – С. 16–20.

#### Bibliography (transliterated):

1. Statisticheskiy ezhegodnik «Ukraina v cifrah» (2014). Gosudarstvenniy komitet statistiki Ukrainy. Kyiv, 600.
2. Sharavarnikov, A. S., Molchanov, V. P., Voevoda, S. S., Sharavarnikov, S. A. (2002). Tushenie pozharov nefi i nefteproduktov. Moscow: Kалан, 448.
3. Antonov, A. V., Borovykov, V. O., Orel, V. P. et. al. (2004). Vohnehasni rechovyny. Kyiv: Pozhinformtekhnik, 176.
4. Borovykov, V. (2015). Hasinnia pozhezh u rezervuarakh dlia zberihannia nafy ta naftoproduktiv. Pozhezha ta tekhnohenna bezpeka, 11 (26), 28–29.
5. Dadashov, I. F., Kireev, A. A., Sharshanov, A. Ya., Chernuha, A. A. (2016). Modelirovanie izoliruyushchih svoystv geleobraznogo sloya po otnošeniyu k param goryuchih zhidkostey. Problemy pozharnoy bezopasnosti, 40, 78–83.
6. Dadashov, I. F., Kireev, A. A. Povyshenie effektivnosti tusheniya goryuchih zhidkostey v rezervuarah putem ispol'zovaniya geleobrazuyushchih sredstv. Proceedings of Azerbaijan state marine academy, 2, 72–76.
7. Dadashov, I. F., Kireev, A. A. Vybory legkogo silikatnogo nositelya dlya gelevogo ognetchashchego sloya pri pozharotushenii. Keramika: nauka i zhizn', 2 (31), 44–51.
8. Arons, G. A. (1948). Struynye apparaty. Moscow: Gosenergoizdat, 269.
9. Kamenev, P. N. (1970). GidroeleATORY v stroitel'stve. Moscow: Stroyizdat, 169.
10. Keller, S. Yu. (1976). Inzhektory. Moscow: Mashgiz, 208.
11. Shumelishskiy, M. G. (1961). Ezhektornye holodil'nye mashiny. Moscow: Gostorgizdat, 261.
12. Berman, L. D. (1976). K vyboru racional'nogo profilya protochnoy chasti struyrnogo apparata. Izv. VTI, 3, 13–18.
13. Berman, L. D., Efimochkin, G. N. (1968). Eksperimental'noe issledovanie vodostruyrnogo ezhektora. Teploenergetika, 9, 9–14.
14. Berman, L. D., Efimochkin, G. N. (1964). Raschetnye zavisimosti dlya vodostruyrnih ezhektorov. Teploenergetika, 7, 44–48.

15. Berman, L. D., Efimochkin, G. N. (1978). Vliyaniye dliny kamery smesheniya na rezhim raboty i ekonomichnost' vodostruyного ezhektora. Teploenergetika, 12, 66–71.
16. Kamenev, P. N. (1970). Hidroelevatory v stroitel'stve. Moscow: Stroyizdat, 169.
17. Akunov, V. I. (1962). Struynye mel'nicy. Elementy teorii i rascheta. Moscow: Mashgiz, 264.
18. Abramovich, G. N. (1974). Turbulentnoye smesheniye gazovyh struy. Moscow: Nauka, 287.
19. Arons, G. A. (1948). Struynye apparaty. Moscow: Gosenergoizdat, 269.
20. Abramovich, G. N. (1979). Prikladnaya gazovaya dinamika. Moscow: Nauka, 824.
21. Dilger, U. (2005). Oborudovaniye dlya mekhanizatsii i pererabotki suhih i stroitel'nyh smesey «M-tec». Stroitel'nye materialy, 1, 62–63.
22. Gastershtad, T. I. (1927). Pnevmaticheskiy transport. Leningrad: izd. Sev. Zap. obl. prombyuro BCH3, 126.
23. Grinev, K. M., Krashennikov, M. I., Krotkov, A. P. (1981). Pnevmaticheskiy transport v cementnoy promyshlennosti. Moscow: Promstroyizdat, 183.
24. Azimov, F. I., Abdullin, K. F. (1996). Pat. No. 2117123 C1 Rossiyskaya Federatsiya. Torkret-mashina s nepreryvnoy zagruzkoy. MPK 6E04 F21/12. No. 96112501/03; declared: 19.06.1996, published: 08.10.1998, Bul. No. 30, 3.
25. Azimov, F. I., Azimov, Yu. I., Abdullin, K. F. (1997). Pat. No. 2140504 C1 Rossiyskaya Federatsiya. Torkret-mashina. MPK 6E04 F21/12. No. 97111597/03; zayavl. 14.07.1997; opubl. 27.10.1999, Bul. No. 28, 4.
26. Grigor'ev, A. M. (1972). Vintovye konveyery. Moscow: Mashinostroeniye, 184.
27. Bashkatov, D. N. (1968). Vrashchatel'noye shnekovoe bureniye geologorazvedochnyh skvazhin. Moscow: Nedra, 192.
28. Grigor'ev, A. M. (1957). Elementy teorii vintovyh konveyerov. Trudy KHTI, 22, 40–43.
29. Gut'yar, E. M. (1968). Elementarnaya teoriya vertikal'nogo vintovogo transportera. Moscow: Trudy (MIMESKH) Moskovskogo in. mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo hozyaystva, 186.
30. Grigor'ev, A. M. (1957). K issledovaniya gorizontalnogo shneka. Trudy KHTI, 22, 18–24.
31. Nikiforov, M. E. (1967). O rabote shneka s gorizontal'noy i naklonnoy osyami. Trudy KHTI, 23, 14–16.
32. Nikiforov, M. E., Grigor'ev, A. M. (1988). K voprosu o teorii vertikal'nogo shneka. Torfyanaya promyshlennost', 1, 16–20.

*Поступила (received) 12.12. 2017*

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Обґрунтування конструкції і методики розрахунку конструктивно-технологічних параметрів ежекційного апарату застосовуваного при пожежогасінні/ Дадашов І. Ф. Ковальов О. О. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.122–129. – Bibliogr.:32. – ISSN 2079-5459**

**Обоснование конструкции и методики расчёта конструктивно-технологических параметров эжекционного аппарата применяемого при пожаротушении/ Дадашов И. Ф. Ковалёв А. А. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.122–129. – Bibliogr.:32. – ISSN 2079-5459**

**Substantiation of the design and methodology for calculating the design and technological parameters of the ejection apparatus used in fire extinguishing/ Dadashov I. Kovalev A. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.122–129. – Bibliogr.:32. – ISSN 2079-5459**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Ковалёв Александр Александрович** – кандидат технических наук, Национальный университет гражданской защиты Украины, доцент кафедры «Инженерной и аварийно-спасательной техники»; ул. Чернышевского 94, г. Харьков, 61023, e-mail: [mralexkovalev@gmail.com](mailto:mralexkovalev@gmail.com).

**Ковальов Олександр Олександрович** – кандидат технічних наук, Національний університет цивільного захисту України, доцент кафедри «Інженерної та аварійно-рятувальної техніки»; вул. Чернишевського 94, м. Харків, 61023, e-mail: [mralexkovalev@gmail.com](mailto:mralexkovalev@gmail.com).

**Kovalyov Alexander Aleksandrovich** – PhD, National university of civil defense of Ukraine, associate professor of the department Engineering and emergency rescue equipment; str. Chernyshevsky 94, Kharkov, 61023, e-mail: [mralexkovalev@gmail.com](mailto:mralexkovalev@gmail.com).

**Дадашов Ильгар Фирдовси** – кандидат технических наук, Национальный университет гражданской защиты Украины, докторант кафедры «Специальной химии и химической технологии»; ул. Чернышевского 94, г. Харьков, 61023, e-mail: [mralexkovalev@gmail.com](mailto:mralexkovalev@gmail.com).

**Дадашов Ільгар Фірдовсі** – кандидат технічних наук, Національний університет цивільного захисту України, докторант кафедри «Спеціальної хімії та хімічної технології», вул. Чернишевського 94, м. Харків, 61023, e-mail: [mralexkovalev@gmail.com](mailto:mralexkovalev@gmail.com).

**Dadashov Ilgar Firdovsi** – PhD, National university of civil defense of Ukraine, doctoral candidate of the department «Special Chemistry and Chemical Technology»; str. Chernyshevsky 94, Kharkov? 61023, e-mail: [mralexkovalev@gmail.com](mailto:mralexkovalev@gmail.com).