

УДК [655:622.692.4.052] 519.865

**УПАКОВЫВАНИЕ ВЫСОКОЗАСТЫВАЮЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ И МЕТОДЫ ИХ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ**

д-р техн. наук, проф. **З.П. ШУЛЬМАН**
(Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова, Минск),
П.В. КОВАЛЕНКО
(Полоцкий государственный университет)

Исследуются процессы упаковывания в полиэтиленовую пленку и методы транспортирования высокозастывающих нефтепродуктов, у которых температура застывания выше температуры окружающей среды, – нефтяные битумы, композиции на их основе, парафины и некоторые другие нефтепродукты.

Известно много способов упаковывания высокозастывающих нефтепродуктов. Однако большинство применяемых в промышленности способов упаковывания таких нефтепродуктов имеют серьезные недостатки. Большое разнообразие существующих способов упаковывания высокозастывающих нефтепродуктов связано с их специфическими свойствами. Несовершенство используемых в промышленности способов упаковывания и транспортирования этих нефтепродуктов обусловлено в основном применяемой тарой. Использование для транспортирования твердых высокозастывающих нефтепродуктов бумажной, а также металлической (бочки) упаковок связано с возникновением большого количества проблем на всех стадиях транспортного процесса. Недостатки, свойственные бумажной упаковке, могут быть устранены путём её замены плёночной, в первую очередь полиэтиленовой, упаковкой. Преимуществом полиэтиленовой пленки является возможность ее утилизации вместе с такими продуктами, как битум и его композиции. Это позволяет сократить затраты труда на освобождение продукта от тары при его использовании у потребителя, исключить загрязнение окружающей среды твердыми отходами.

Введение. Такие свойства высокозастывающих нефтепродуктов (ВЗНП), как химическая стойкость, низкая теплопроводность, водо- и паронепроницаемость, высокая адгезионность, эластичность обусловили их широкую область применения в трубопроводном транспорте, строительстве, медицине и других областях.

Все ВЗНП получают и потребляют в жидком виде при температуре выше температуры окружающей среды, а перевозят их в основном в твердом упакованном виде.

Существует много способов упаковывания ВЗНП. Большое разнообразие существующих способов упаковывания ВЗНП связано со специфическими свойствами этих нефтепродуктов. Однако эти способы можно объединить в две большие группы по такому признаку, как агрегатное состояние высокозастывающих нефтепродуктов перед размещением в тару.

Большинство применяемых в промышленности способов упаковывания ВЗНП имеют существенные недостатки. Несовершенство используемых в промышленности способов упаковывания и транспортирования нефтепродуктов обусловлено в основном применяемой тарой.

Упаковывание твердого продукта в виде плит может производиться в картонные коробки, мешки или термоусадочную пленку. Автоматизированные линии для реализации этого способа довольно сложные, включают большое число механизмов. Однако наиболее серьезный недостаток проявляется на стадии охлаждения при получении плит. Вследствие низкой теплопроводности битумов, парафинов и композиций на их основе время затвердевания составляет несколько часов при относительно небольшой толщине плит. На конвейере малой длины невозможно обеспечить высокую производительность, если толщина охлаждаемого слоя или плиты превышает 10...15 мм. При охлаждении слоя малой толщины его затем необходимо резать на плиты и штабелировать их, что усложняет оборудование. Механизированные установки, реализующие этот способ, имеют высокую металло- и энергоёмкость, большие габариты, они сложны и дороги. Кроме того, для их надежной работы требуются антиадгезионные смазочные материалы или покрытия форм. Достоинством является хороший внешний вид и правильная форма плит, низкий удельный расход упаковочного материала, так как может использоваться упаковочная пленка очень малой толщины.

В большинстве реализованных способов упаковывания холодного твердого продукта охлаждение до затвердевания производится воздухом при прямом контакте с продуктом.

Однако интенсивность воздушного охлаждения чрезвычайно мала. Она компенсируется увеличением поверхности при диспергировании продукта или охлаждении в тонком слое, а затем его разрезании или дроблении с получением твердого сыпучего продукта в виде крошки, гранул или таблеток.

Основной недостаток упаковывания продукта в виде мелких частиц – низкий коэффициент использования объема тары (около 60 %) и повышенный ее расход. При хранении частицы продукта могут слипаться.

Практически непреодолимым недостатком диспергирования является унос мелких частиц, обуславливающий потери продукта и загрязнение окружающей среды.

Значительное загрязнение воздуха происходит и при охлаждении битума в тонком слое вследствие развитой поверхности испарения вредных веществ.

Многочисленные попытки использовать более интенсивное водяное охлаждение при непосредственном взаимодействии воды с продуктом в конечном итоге отвергались из-за обводнения продукта – битума и парафина.

В некоторых используемых технологиях производится охлаждение слоя материала водой через стенку (в барабанных машинах, на конвейере фирмы Sandvik, рамных машинах для отливки плит парафина).

Заливка продукта в тару в горячем текучем состоянии при использовании металлической, многослойной бумажной или картонной тары осуществляется на примитивном оборудовании и требует ручного труда.

Металлическая тара обеспечивает надежную сохранность продукта и его качества при перевозках, перевалках и хранении. Этот способ упаковывания и хранения не требует энергозатрат и времени на охлаждение продукта. Недостатки – высокий расход тары, трудность извлечения продукта из тары, невозможность ее утилизации и загрязнение окружающей среды твердыми отходами, потери неизвлеченного из тары продукта.

Эти же недостатки характеризуют и упаковывание в бумажную тару, однако цена и удельный расход ее ниже, чем металлической. Кроме того, при большой массе упаковки потребителю необходимо ее дробить, что сопряжено с потерями продукта.

Заливка горячего продукта в полимерную тару может осуществляться при воздушном охлаждении, если температура теплостойкости полимера выше температуры продукта. К таким упаковочным материалам относятся полипропиленовая, полиэтилентерефталатная, ацетатная пленки. Имеется целый ряд способов, основанных на горячей заливке в полимерные мешки, вкладыши и на ленточную пленку, с последующим воздушным охлаждением залитого продукта в формах на конвейере. Однако извлечение продукта из форм возможно только после его полного затвердевания. При низкой интенсивности воздушного охлаждения требуется конвейер большой длины для обеспечения даже небольшой производительности.

Использование водяного охлаждения позволяет заливать горячий продукт с температурой, превышающей температуру теплостойкости и даже температуру плавления полимерной тары. Скорость охлаждения в воде значительно выше, чем на воздухе. Появляется возможность не добиваться полного затвердевания продукта, если отдельные упаковки запечатаны после заливки продукта. За счет этого существенно сокращаются время охлаждения и связанные с ним энергозатраты.

Специфической проблемой водяного охлаждения пленочной полимерной тары является ее сдавливание водой и выдавливание из нее заливаемого продукта, так как плотность продукта в горячем состоянии меньше плотности воды.

Постановка задачи. Поиск рациональных способов упаковывания и охлаждения битумов, парафинов и тому подобных материалов ведется во многих странах. Наиболее эффективным направлением является использование для упаковывания этих материалов полиэтиленовой пленки.

Большим преимуществом полиэтиленовой пленки является возможность и утилизации вместе с такими продуктами, как битум и его композиции. Это позволяет сократить затраты труда на освобождение продукта от тары при его использовании у потребителя, исключить загрязнение окружающей среды твердыми отходами.

В Полоцком государственном университете разработан способ и различные модификации установок для упаковывания строительного битума в рукавную полиэтиленовую пленку.

Упаковывание строительного битума по технологии Полоцкого университета [2] производится в полиэтиленовый рукав, который раздувается сжатым воздухом и поперечными термосварными швами разделяется на секции. Блок из нескольких секций отделяется от рукава и размещается вертикально в разъемной металлической форме. В секции блочной тары заливаются одновременно равные дозы битума при орошении пленки водой, затем форма раскрывается, и блок с битумом в пленке соскальзывает в ванну с водой для доохлаждения. Указанные способы включают две стадии охлаждения тары с битумом: при заливке и доохлаждении в ванне.

Во время заливки в течение нескольких минут (1...5) пленочная тара с горячим жидким продуктом размещается вертикально и ее поверхность охлаждается орошением водой или через стенки заливочной формы, конвейера. На этой стадии основной задачей является обеспечение сохранности пленки, так как температура заливаемого продукта составляет 140...170 °С, а температура плавления полиэтилена около 100 °С.

Для решения этой задачи требуется знать распределение температуры в слое битума у поверхности тары.

Во время доохлаждения в ванне тара с битумом расположена горизонтально и перемещается в воде на плаву, так как у битума плотность меньше, чем у воды.

Для этой стадии необходимо определение времени пребывания тары с битумом в воде, достаточного для формирования слоя определенной толщины.

Если для упаковывания используются полиэтиленовые мешки [1] или блочная тара, изготовленная из рукава [2], то ее конфигурация близка к прямоугольной, а ширина значительно меньше длины и высоты.

Таким образом, для стадии заливки имеем симметричную задачу нестационарного процесса охлаждения при свободном движении жидкости в ограниченном объеме.

Распределение температуры внутри жидкости описывается следующим уравнением:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial t}{\partial x} + w_y \frac{\partial t}{\partial y} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где t – температура; τ – время; x, y, z – координаты.

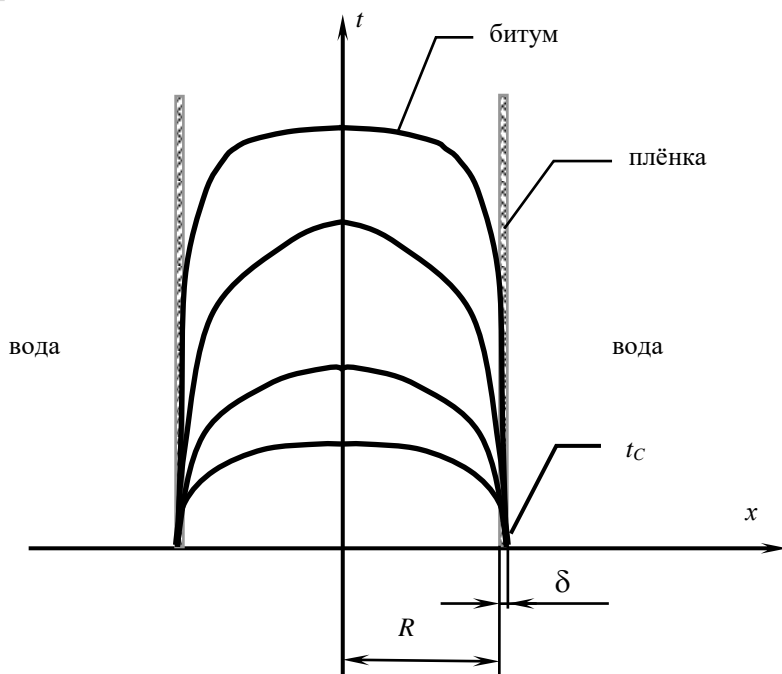
С учетом допущений об одномерном переносе тепла и малости конвективных потоков уравнение упрощается:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности.

Битум, залитый в пленочную тару, орошаемую водой, рассматриваем как систему двух пластин, находящихся в тепловом контакте (рисунок).

Толщина пленочной тары δ составляет от 60 до 200 мкм, т.е. она пренебрежимо мала по сравнению с толщиной слоя битума $2R$, которая по технологии ПГУ равна 80...100 мм. В то же время теплопроводность полиэтилена почти в 3 раза превышает теплопроводность битума. Таким образом, термическое сопротивление полиэтиленовой пленки δ/λ невелико и ее наличие практически не изменяет температуры у поверхности упаковки.



Распределение температур в упаковке битума, охлаждаемой водой

Тогда граничные условия 4 рода – между битумом и пленкой – заменяем граничными условиями 3 рода – между битумом и водой:

$$\lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} = \alpha_c [t(R, \tau) - t_c]. \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности; R – координаты поверхности; α_c – коэффициент теплоотдачи; индекс c – охлаждающая среда.

Определить характер распределения температуры в битуме можно, оценив величину критерия Био:

$$Bi = \frac{\alpha_c R}{\lambda}. \quad (4)$$

Приняв для воды значение $\alpha_c = 250$ Вт/м²·К [5], для битума $\lambda = 0,12$ Вт/м·К [5] и $R = 0,05$ м, имеем $Bi = 104$.

При $Bi > 100$ [4] температура на поверхности сразу после заливки битума становится практически равной температуре охлаждающей воды вследствие высокой интенсивности теплоотвода водой и малой теплопроводности битума.

Тогда граничные условия третьего рода переходят в условия первого рода – постоянство температуры на поверхности. Начальные условия:

$$t(x, \tau) = t_0 \text{ при } \tau = 0. \quad (5)$$

С учетом этих допущений и постоянства теплофизических свойств поставленная задача преобразуется в классическую задачу нестационарной теплопроводности с граничными условиями первого рода, решение которой для бесконечной пластины имеет следующий вид:

$$\theta = \frac{t(x, \tau) - t_c}{t_0 - t_c} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \mu_n \frac{x}{R} \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (6)$$

где θ – относительная температура; индекс 0 – начальное значение; μ_n – корни характеристического уравнения; $Fo = a\tau R^2$.

На стадии заливки время охлаждения тары с битумом составляет 2...3 минуты, при этом величина критерия Фурье мала, т.е. $Fo \ll 0,3$. При малых значениях Fo расчет относительной избыточной температуры как функции относительной координаты x/R и числа Фурье по уравнению (6) довольно трудоемко.

А.В. Лыковым [4] показано, что охлаждение в первые моменты времени происходит аналогично охлаждению полуограниченного тела, когда начало координат находится на поверхности. Число Фурье рассчитывается по уравнению (критерий Фурье при начале координат на поверхности):

$$Fo_x = \frac{a\tau}{x^2}, \tag{7}$$

а решение уравнения (6) имеет вид:

$$\theta = \frac{t(x, \tau) - t_c}{t_0 - t_c} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) = \text{erf}\left(\frac{1}{2\sqrt{Fo_x}}\right). \tag{8}$$

Относительную избыточную температуру на границе защитного слоя битума по известной начальной температуре битума t_0 , температуре охлаждающей воды t_c и температуре теплостойкости (плавления) материала пленки t можно определить по уравнению:

$$\theta = \frac{t - t_c}{t_0 - t_c}. \tag{9}$$

Основываясь на приведенных выше допущениях, сделано предположение о возможности использования теории регулярного режима для расчета времени охлаждения или времени пребывания упаковки в ванне с водой.

Регулярный режим характеризуется постоянством темпа охлаждения. Предполагаем, что это справедливо и для жидкого битума. В условиях интенсивного внешнего теплоотвода, в частности при охлаждении водой (при $Bi > 100$), темп охлаждения зависит только от теплофизических свойств тела, его конфигурации и размеров [4]:

$$m_\infty = \frac{a}{K}, \tag{10}$$

где m_∞ – темп охлаждения при интенсивном внешнем теплоотводе; a – коэффициент температуропроводности; K – коэффициент пропорциональности, зависящий от геометрической формы и размеров тела.

Упаковка имеет форму параллелепипеда с размерами $l_1 \times l_2 \times l_3$, тогда

$$K = \frac{1}{\left(\frac{\pi}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{l_2}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{l_3}\right)^2}. \tag{11}$$

Задаваясь средней конечной температурой битума в упаковке t_k , время пребывания упаковки в ванне с водой определяем по уравнению:

$$\tau = \frac{l_n \theta_1 - l_n \theta_2}{m_\infty}, \tag{12}$$

где $\theta_1 = 1$; $\theta_2 = \frac{t_k - t_c}{t_0 - t_c}$.

Результаты, получаемые при использовании предложенных уравнений, были подтверждены экспериментальными исследованиями. Несовпадения теоретических и экспериментальных результатов составляет 5...7 %, что допустимо для инженерных расчетов.

Новые технологии упаковывания ВЗНП с использованием полимерных упаковочных материалов требуют разработки более современных методов их транспортирования.

Для транспортирования ВЗНП в горячем жидком виде используется в основном железнодорожный, автомобильный и речной транспорт.

В странах СНГ в жидком виде железнодорожным транспортом перевозится около 70 % ВЗНП, остальные – автомобильным. За рубежом доля перевозки ВЗНП железнодорожным транспортом невелика. Основное количество ВЗНП в жидком горячем виде, например в ФРГ, транспортируется автобитумовозами (95 %) [1], во Франции для этого больше используются баржи [6].

Транспортирование ВЗНП в жидком виде имеет ряд преимуществ по сравнению со способом транспортирования этих нефтепродуктов в твердом упакованном состоянии.

Достоинствами «горячего» способа транспортирования является то, что значительно снижаются затраты у потребителя, связанные с хранением, разогревом ВЗНП и удалением тары, а у производителя снижение затрат происходит за счет того, что отсутствуют операции охлаждения и упаковывания.

Однако этот способ транспортирования имеет и ряд недостатков: необходимость использования специализированной тары, имеющей теплоизоляцию и оборудованной средствами обогрева; при средних расстояниях перевозки ВЗНП (1500 км) затраты на порожний пробег тары превышают затраты на разогрев нефтепродуктов. Невозможно использовать «горячий» способ транспортирования и при перевалке нефтегрузов с одного вида транспорта на другой.

Около 80 % строительных и высокоплавких битумов в странах СНГ перевозят в твердом виде. Причем железной дорогой перевозят около 70 % ВЗНП, остальное – автомобильным, морским и речным транспортом.

Небольшую часть битумов и парафинов перевозят в отдаленные районы смешанным железнодорожно-водным транспортом в металлических бочках. Однако утилизация этой тары или ее возврат практически невозможны, в то же время ее цена превышает стоимость продукта. Для перевозки 1 т битума требуется 6 бочек по 200 л, при этом расход металла составляет примерно 200 кг.

Мелкорасфасованный (10...15 кг) битум перевозят в крытых вагонах навалом. Погрузка и разгрузка производится вручную, что требует продолжительного простоя вагонов и больших трудозатрат.

Строительные и высокоплавкие битумы (85 %) в странах СНГ транспортируют упакованными в крафт-бумажную тару.

Такое широкое использование крафт-бумажной тары для упаковывания твердых битумов в странах СНГ обусловлено тем, что она позволяет обеспечивать высокую производительность при простой технологии налива. Одновременно может заливаться до 2 т битума, т.е. 6...8 мешков по 200...250 кг. Это единственное достоинство использования крафт-бумаги в качестве тары для твердых битумов.

На операциях же хранения и транспортирования твердых битумов, упакованных в крафт-бумажную тару, возникают большие проблемы.

Хранение твердых битумов, упакованных в крафт-бумажную тару, предполагает наличие больших складских помещений или площадок на заводах и перевалочных нефтебазах, поскольку его складирование производится в один ярус.

При транспортировании битума в полувагонах его грузят навалом или упорядоченно в 2...3 яруса. Загрузка полувагона составляет 40 т, т.е. используются примерно 70 % его грузоподъемности, так как болванки битума имеют неправильную цилиндрическую форму.

Во избежание слипания мешков с битумом между ярусами укладывают доски, что увеличивает затраты на материалы и трудоемкость погрузки. При перевозке битума в бумажной таре в летнее время зачастую болванки слипаются в монолитную массу, которую для выгрузки приходится дробить вручную. В результате продолжительность разгрузки превышает нормативы вдвое, увеличивается простой вагонов, происходят потери битума.

Кроме того, бумажная тара является причиной пожаров на железнодорожном транспорте.

Крупные болванки битума в бумажной таре крайне неудобны и для потребителей. Перед закладкой в плавильные котлы их приходится дробить в ручную (рубят топором) и освобождать от бумаги. Бумага плохо отделяется от битума, ее остатки извлекают из котлов вручную. Однако бумага попадает в битумные покрытия, ухудшая их качества и снижая срок службы.

Общие потери битума при упаковывании, перевозке и подготовке к потребителю достигают 15 %. Эти потери приводят к загрязнению окружающей среды твердыми отходами. Кроме того, безвозвратно теряется до 8 кг бумаги на 1 т битума.

Для усовершенствования способа транспортирования ВЗНП в твердом виде большой интерес представляет в качестве упаковочного материала полиэтиленовая пленка.

Использование полиэтиленовой пленки для упаковывания ВЗНП решает практически все проблемы на стадиях упаковывания, транспортирования и потребления, возникающие при использовании битума, упакованного в крафт-бумажную тару.

У потребителя мелкая фасовка исключает необходимость дробления битума перед закладкой в котел, при этом отсутствуют потери битума, окружающая среда не загрязняется твердыми отходами, а добавка полиэтилена улучшает качество битума.

Все проблемы, которые возникают при транспортировании битума в крафт-бумажной таре, предлагается решить путем формирования транспортного пакета из мелкофасованного битума, упакованного в полиэтиленовую пленку. Это связано с тем, что пакетные перевозки позволяют механизировать погрузочно-разгрузочные и складские операции, исключить тяжелый и трудоемкий ручной труд, простой транспорта, обеспечить сохранность и качество продукции.

Существуют следующие способы пакетирования – формирования укрупненных грузовых единиц из мелких упаковок: укладка без поддона, обвязывание лентой, проволокой или другим материалом; укладка на плоский поддон с обвязыванием; укладка в стоечный (ящичный) поддон; укладка на

плоский поддон и скрепление растягивающейся пленкой; укладка без поддона и скрепление термоусадочной пленкой. Выбор способа пакетирования зависит от формы, размеров упаковки и способности продукта сопротивляться термическим и механическим воздействиям.

Из всех существующих способов формирования транспортных пакетов наиболее рациональными для мелкофасованных битумов являются два способа укладки: на поддон с обвязыванием и в термоусадочной пленке.

Выводы

1. Использование для транспортирования твёрдых ВЗНП бумажной, а также металлической (бочки) упаковок связано с возникновением большого количества проблем на всех стадиях транспортного процесса: упаковывании, транспортировании, хранении, а также при потреблении. Недостатки, свойственные бумажной упаковке, могут быть устранены путём её замены плёночной (в первую очередь полиэтиленовой) упаковкой.

2. Основная доля ВЗНП в странах СНГ транспортируется в твердом виде. Для чего может использоваться автомобильный, железнодорожный, водный, транспорт, трубопроводные поточно-контейнерные системы, пневмотранспорт, трубопроводный контейнерный гидротранспорт. Транспортирование ВЗНП в твердом состоянии рационально производить упакованными, при этом не существует единого подхода к выбору размеров транспортного пакета и единой упаковки битума у производителя, потребителя и перевозчика.

3. Анализ свойств нефтепродуктов показывает, что на организацию транспортного процесса наибольшее влияние оказывают физико-химические свойства: температура размягчения, температура каплепадения, температура плавления, пенетрация.

4. Существующие технологии упаковывания битумов с точки зрения экологической безопасности несовершенны. Решить проблему экологической безопасности упаковывания битума, в значительной мере, можно путем использования в качестве упаковочного материала – полиэтиленовой пленки.

5. Широкое использование плёночной полиэтиленовой упаковки сдерживается сложностью обеспечения заливки горячего битума непосредственно в плёночную полиэтиленовую упаковку, отсутствием оборудования для её проведения и отсутствием инженерных методов технологического расчёта такого оборудования.

6. При разработке технологии и оборудования для упаковывания высокозастывающих нефтепродуктов в полиэтиленовую пленку необходимо учитывать различные факторы, в том числе те, которые оказывают влияние на их транспортирование: размер транспортного пакета и единичной упаковки, способ пакетирования, вид тары и упаковочного материала.

7. Транспортный пакет с размерами 800 × 1200 мм (в плане) можно формировать из двух упаковок: 1200 × 400 мм; 800 × 600 мм, или из трех 400 × 800 мм в одном ряду.

8. Наиболее экономичным способом формирования укрупненной грузовой единицы из более мелких упаковок (брикетов) битума в полиэтиленовой пленке является использование термоусадочной пленки без применения поддонов.

9. Разработанная методика позволяет решить следующие основные задачи транспортного процесса твердых ВЗНП.

На стадии проектирования:

- осуществлять технологический расчёт оборудования для упаковывания твердых ВЗНП в полиэтиленовую плёнку и разрабатывать конструктивные схемы такого оборудования;

- разрабатывать основные элементы транспортного процесса доставки твердых ВЗНП, в том числе пакетирование, погрузку, хранение, а также потребление;

- разрабатывать технические системы, обеспечивающие экологически безопасное транспортирование твердых ВЗНП.

На стадии эксплуатации оборудования:

- полученные зависимости позволяют полностью автоматизировать процесс упаковывания битума.

10. Разработанная технология и оборудование упаковывания битума в рукавную полиэтиленовую пленку позволяет: значительно сократить выделение вредных паров; значительно снизить энергозатраты; исключить использование антиадгезионных материалов; сократить время погрузки и выгрузки; исключить операции дробления битума и утилизации тары.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ и устройство для затаривания битума в полиэтиленовые мешки: пат. 2156302 Великобритании.
2. Способ упаковки тугоплавких битумов в термопластичную пленку: пат. 1535759 СССР; пат. 139 Респ. Беларусь / З.С. Теряева, В.К. Липский, С.С. Шалаев, П.И. Швед.
3. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1976.
4. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
5. Справочник химика. – М., 1968. – Т. 6: Химия.

6. Фрязинов, В.В. Зарубежный опыт хранения, затаривания и транспортирования битумов / В.В. Фрязинов, Л.П. Смирнов, И.В. Грудников // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья: темат. обзор. – М.: ЦИИТЭНефтехим, 1981.

Поступила 31.05.2007