ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ БИОТОПЛИВА ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ К ПОТРЕБИТЕЛЯМ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

А.Н. Грибков, Н.Ю. Залукаева

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

В настоящее время все больший интерес приобретает тема использования топливных ресурсов из возобновляемого и экологически чистого сырья, к ним относятся топливные пеллеты. Несмотря на большое количество научных работ, посвященных вопросам производства биотоплива и оптимизации транспортных процессов, прослеживается недостаточность проработанности темы бесперебойных поставок топливных пеллет конечным потребителям с учетом транспортных особенностей биотоплива. Следует отметить, что количество потребителей биотоплива во всем мире непрерывно возрастает, что очевидно связано с перспективностью и преимуществами использования топливных пеллет в качестве энергоресурсов. В этой связи, весьма актуальной становится задача бесперебойного обеспечения потребителей биотопливом. Решение данной задачи возможно на основе комплексного подхода, использующего современные достижения в области информационных технологий, теории транспортных процессов, теории оптимальных систем и методов искусственного интеллекта. Процесс транспортировки топливных пеллет от множества производителей к множеству потребителей представляет собой сложную систему, которая непрерывно развивается и динамично меняет свое состояние функционирования. Данная система включает множество взаимосвязанных внутренних и внешних переменных, определяющих ее текущее состояние функционирования в конкретный момент времени. Достаточно полно возможные состояния системы при длительной эксплуатации отражает множество состояний функционирования, в котором, наряду с состояниями нормальной работоспособности, также учитываются состояния с частичным и полным отказом элементов системы. Основная цель функционирования системы, связана с минимизацией временных и материальных затрат на осуществление бесперебойных поставок биотоплива. В статье рассмотрены теоретические аспекты и практический пример построения информационной модели процесса транспортировки топливных пеллет от производителей к потребителям на множестве состояний функционирования.

Ключевые слова: информационная модель, процесс транспортировки, множество состояний функционирования, топливные пеллеты.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия во многих странах наблюдается всплеск интереса к возобновляемым источникам энергии, в том числе к топливам на основе древесного сырья [1]. Современная биоэнергетика обеспечивает решение целого ряда экологических, энергетических и сельскохозяйственных проблем, обусловленных высокой степенью зависимости от традиционных источников энергии.

Использование топливных гранул (пеллет) в качестве энергоресурсов является весьма перспективным направлением биоэнергетики, при этом количество потребителей биотоплива непрерывно возрастает, в связи с чем возникает задача их бесперебойного обеспечения энергоресурсами. Решение данной задачи возможно с использованием современных информационных технологий, теории транспортных процессов, теории оптимальных систем и методов искусственного интеллекта.

Вопросы производства, распределения и

транспортировки биотоплива в настоящее время весьма актуальны и привлекают значительное внимание как отечественных, так и зарубежных ученых. В данной области известны работы таких ученых как Steven E. Sexton, Gal Hochman, Kapil M Gumte, Пермякова Д.К., Пермякова Н.К., Колганов Е.С., Гаврилова О.И. и др.

Несмотря на значительное количество проведенных исследований в области производства топлива из возобновляемых источников и оптимизации транспортных процессов, явно прослеживается недостаточность проработанности темы бесперебойных поставок биотоплива конечным потребителям с учетом транспортных особенностей биотоплива.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Особенностью транспортного процесса является изменчивость и большой объем качественной и количественной информации поступающей при выполнении транспортировки груза. Для того чтобы была возможность удерживать и постоянно совершенствовать качество процесса

транспортировки, необходимо контролировать, измерять и управлять этой информацией. Для принятия управленческого решения необходимо знание большого объема информации о значениях ключевых параметров процесса, при этом информация обязательно должна быть четко структурированной, измеренной и обработанной, т.е. представленной в виде формализованной информационной модели процесса транспортировки. Помимо этого, такая модель может являться основой для создания информационного обеспечения информационно-управляющей системы процессом транспортировки биотоплива от производителей к потребителям [2]. Система позволит решать широкий спектр оптимизационных транспортно-логистических задач, связанных с планированием и организацией бесперебойной поставки энергоресурсов, снижением транспортной составляющей в конечной цене биотоплива и т.д.

Эффективность функционирования любой системы определяется ее надежностными свойствами, условиями работы, воздействиями внешнего окружения и другими факторами, которые могут иметь детерминированную, вероятностную или нечеткую (расплывчатую) природу. Процесс распределения топливных пеллет от множества производителей к множеству потребителей также представляет собой сложную, развивающуюся и динамично меняющуюся систему. Данная система описывается комплексом внутренних и внешних переменных, определяющих ее состояние в конкретный момент времени. Чем больше количество производителей и потребителей биотоплива, тем более сложной становится система. Основная цель ее функционирования, связана с минимизацией временных и материальных затрат на осуществление бесперебойных поставок топливных пеллет.

Достаточно полно возможные состояния системы при длительной эксплуатации отражает множество состояний функционирования [3], в котором наряду с состояниями работоспособности (безотказности) учитываются возможные производственные ситуации, то есть смены режимов работы, связанные с появлением новых производителей и потребителей, закупкой дополнительного оборудования для производства топливных пеллет, увеличения объема складов для хранения пеллет и т.д. Система может находиться в состоянии нормального функционирования, когда принимаются стандартные решения по доставке топливных пеллет, и состояние отклонения от нормального, когда приходится принимать экстренные решения, с максимальной возможностью соблюдения условий минимизации временных и материальных затрат.

При рассмотрении систем на множестве состояний функционирования, используется

переменная h , обозначающая текущее состояние функционирования системы. При этом $h \in H$, где H – множество состояний функционирования системы, т.е. множество возможных значений переменной h .

Элементами системы распределения топливных пеллет S являются потребители ($A_i, i = \overline{1, n_a}$), производители ($B_j, j = \overline{1, n_b}$) и перевозчики ($C_k, k = \overline{1, n_c}$)

$$S = \{A_1, \dots, A_{n_a}; B_1, \dots, B_{n_b}; C_1, \dots, C_{n_c}\}.$$

Для того чтобы определить множество состояний функционирования элемента системы, необходимо определить параметры от которых зависит поведение элемента.

Для i -го потребителя в качестве факторов, оказывающих влияние на значение переменной состояния функционирования h^{A_i} , можно выделить следующие:

1. Объемная характеристика возможности хранения топливных пеллет p^{A_i} (кг), определяющая вместимость топливного склада.

2. Подмножество видов топливных пеллет w^{A_i} , пригодных для сжигания в котле, установленном у потребителя:

$$w^{A_i} \subset W, \quad W = \{w_1, w_2, \dots, w_{n_w}\},$$

где W – множество видов топливных пеллет (например, индустриальные пеллеты, агропеллеты или белые пеллеты, которые могут существенно отличаться по своим характеристикам – теплоте сгорания, зольности и т.д.).

3. Резервный остаток топливных пеллет r^{A_i} (кг), значение которого определяет необходимый запас топлива для обеспечения бесперебойной работы котла в течение заданного временного интервала, достаточного для поставки новой партии топлива от производителя.

4. Текущий суммарный остаток топливных пеллет различных видов (кг):

$$o_{\Sigma}^{A_i} = o_{w_1}^{A_i} + o_{w_2}^{A_i} + \dots + o_{w_{n_w}}^{A_i}, \quad 0 \leq o_{\Sigma}^{A_i} \leq p^{A_i},$$

где $o_{w_x}^{A_i}$ – остаток пеллет вида $w_x, x = \overline{1, n_w}$.

Необходимо учитывать, что при $o_{\Sigma}^{A_i} < r^{A_i}$ – возникает критическая ситуация, требующая организации срочной поставки топливных пеллет.

5. Объем возможной разовой закупки топливных пеллет $d_{w_x}^{A_i}$ (кг), причем $d_{w_x}^{A_i} \leq p^{A_i} - o_{\Sigma}^{A_i}$. Следует также отметить, что при определении $d_{w_x}^{A_i}$ необходимо учитывать вид закупаемых топливных пеллет и тип их упаковки, а также период времени, остающийся до конца отопительного сезона.

6. Суточное потребление топливных пеллет (кг):

$$f_{\Sigma}^{A_i} = f_{w_1}^{A_i} + f_{w_2}^{A_i} + \dots + f_{w_{nw}}^{A_i},$$

которое в значительной степени зависит от температуры окружающей среды, вида топливных пеллет, площади отапливаемого помещения и его теплоизоляции.

Таким образом, переменная, описывающая текущее состояние функционирования потребителя A_i включает следующие компоненты:

$$h^{A_i} = \langle p^{A_i}; w^{A_i}; r^{A_i}; o_{\Sigma}^{A_i}; d_{w_x}^{A_i}; f_{\Sigma}^{A_i} \rangle, h^{A_i} \in H^{A_i},$$

где H^{A_i} – множество состояний функционирования потребителя A_i .

Для j -го производителя в качестве факторов, оказывающих влияние на значение переменной состояния функционирования h^{B_j} , можно выделить следующие:

1. Объемная характеристика возможности хранения топливных пеллет на складе производителя p^{B_j} (кг).

2. Подмножество производимых видов топливных пеллет $w^{B_j} \subset W$.

3. Текущий суммарный остаток различных видов топливных пеллет на складе (кг):

$$g_{\Sigma}^{B_j} = g_{w_1}^{B_j} + g_{w_2}^{B_j} + \dots + g_{w_{nw}}^{B_j}, 0 \leq g_{\Sigma}^{B_j} \leq p^{B_j}.$$

4. Суммарный суточный объем производства топливных пеллет различных видов (кг/сут):

$$s_{\Sigma}^{B_j} = s_{w_1}^{B_j} + s_{w_2}^{B_j} + \dots + s_{w_{nw}}^{B_j}, 0 \leq s_{\Sigma}^{B_j} \leq p^{B_j} - g_{\Sigma}^{B_j}.$$

5. Подмножество типов упаковки производимых пеллет u^{B_j} (пакеты и биг-бэги различной вместимости или без упаковки).

6. Множество $c^{B_j} = \{c_{w_x, u_y}^{B_j} | w_x \in w^{B_j}; u_y \in u^{B_j}\}$, содержащее стоимость пеллет (руб./кг), которая устанавливается производителем в зависимости от вида пеллет, типа их упаковки и т.д.

Переменная, описывающая текущее состояние функционирования производителя B_j включает следующие компоненты:

$$h^{B_j} = \langle p^{B_j}; w^{B_j}; g_{\Sigma}^{B_j}; s_{\Sigma}^{B_j}; u^{B_j}; c^{B_j} \rangle, h^{B_j} \in H^{B_j},$$

где H^{B_j} – множество состояний функционирования производителя B_j . При необходимости, вместо суммарных значений $g_{\Sigma}^{B_j}; s_{\Sigma}^{B_j}$ – в h^{B_j} могут включаться значения по отдельным видам топливных пеллет.

Система транспортировки предполагает взаимодействие близлежащих потребителей и производителей находящихся на расстоянии друг от друга не более 700 км с целью использования автомобильного транспорта. Протяженность

маршрута до 700 км является наиболее экономически оправданной для использования автомобильного транспорта, на более дальние расстояния выгоднее использовать железнодорожный, речной или морской транспорт.

Непосредственная доставка топливных пеллет может осуществляться потребителями (самовывоз), производителями или сторонними перевозчиками.

Для k -го перевозчика в качестве факторов, оказывающих влияние на значение переменной состояния функционирования h^{C_k} , можно выделить следующие:

1. Подмножество транспортных средств, имеющихся в наличии у перевозчика:

$$t^{C_k} \subset T, T = \{t_1, t_2, \dots, t_{n_t}\},$$

где T – множество транспортных средств различающихся своим типом (бортовой, самосвал, манипулятор – автомобиль с краноманипуляторной установкой) и грузоподъемностью. Выбор необходимого для перевозки транспортного средства зависит от типа упаковки пеллет и их веса.

2. Множество $c^{C_k} = \{c_{t_z}^{C_k} | t_z \in t^{C_k}\}$, содержащее значение тарифа (руб./км), которое зависит от типа и грузоподъемности транспортного средства (итоговая стоимость перевозки зависит от расстояния между производителем и потребителем $l_{A_i}^{B_j}$, км).

3. Стоимость разгрузки пеллет у потребителя $c_r^{C_k} = \{c_{r, t_z}^{C_k} | t_z \in t^{C_k}\}$, которая зависит от вида транспорта и типа упаковки пеллет. Возможны следующие варианты: ручная разгрузка мешков мелкой фасовки; разгрузка насыпью при доставке самосвалом; разгрузка биг-бегов или мешков мелкой фасовки, уложенных на европаллет, с помощью автомобильного крана или манипулятора.

Переменная, описывающая текущее состояние функционирования перевозчика C_k включает следующие компоненты:

$$h^{C_k} = \langle t^{C_k}; c^{C_k}; c_r^{C_k} \rangle, h^{C_k} \in H^{C_k},$$

где H^{C_k} – множество состояний функционирования перевозчика C_k .

Рассмотрим практический пример построения информационной модели процесса транспортировки топливных пеллет на множестве состояний функционирования. Допустим, что в системе имеется пять элементов (один потребитель, два производителя и два перевозчика):

$$S = \{A_1; B_1; B_2; C_1; C_2\}.$$

Расстояние от первого производителя до потребителя составляет $l_{A_1}^{B_1} = 30$ км, от второго производителя – $l_{A_1}^{B_2} = 35$ км.

Потребитель A_1 характеризуется следующими параметрами: вместимость топливного склада $p^{A_1} = 3000$ кг; котел приспособлен для сжигания различных видов топливных пеллет ($w^{A_1} = W$); резервный остаток топлива, обеспечивающий бесперебойное отопление в течение трех суток $r^{A_1} = 216$ кг. Очевидно, что данные параметры будут меняться очень редко по сравнению с остальными.

Рассмотрим примеры возможных состояний функционирования потребителя A_1 :

- $h_1^{A_1} = \langle 3000; w^{A_1}; 216; 3000; 0; 72 \rangle$ – склад заполнен полностью, закупать пеллеты не требуется;
- $h_2^{A_1} = \langle 3000; w^{A_1}; 216; 216; 2784; 72 \rangle$ – остаток топливных пеллет равен резервному остатку, необходима закупка биотоплива.

Производитель B_1 характеризуется следующими параметрами: вместимость склада $p^{B_1} = 55000$ кг; производится один вид пеллет – белые пеллеты $w^{B_1} = \{w_1\}$; $s_{\Sigma}^{B_1} = s_1^{B_1} = 1000$ кг/сут; виды упаковки $u^{B_1} = \{u_1; u_2\}$, где u_1 – пакет (10 кг); u_2 – биг-бег (500 кг); стоимость пеллет $c_{w_1, u_1}^{B_1} = 10,6$ руб./кг, $c_{w_1, u_2}^{B_1} = 9,8$ руб./кг.

В качестве примера рассмотрим несколько состояний функционирования производителя B_1 :

- $h_1^{B_1} = \langle 55000; w^{B_1}; 20000; 1000; \{u_1; u_2\}; \{10,6; 9,8\} \rangle$ – на складе имеется запас пеллет (20000 кг), пеллеты производятся (1000 кг/сут);
- $h_2^{B_1} = \langle 55000; w^{B_1}; 0; 0; \emptyset; \emptyset \rangle$ – пеллеты на складе отсутствуют (продажа невозможна), пеллеты не производятся.

Производитель B_2 характеризуется следующими параметрами: вместимость склада $p^{B_2} = 120000$ кг; производится три вида пеллет $w^{B_2} = \{w_1; w_2; w_3\}$, где w_1 – белые пеллеты, w_2 – индустриальные пеллеты, w_3 – агропеллеты; $s_{\Sigma}^{B_2} = 8000$ кг/сут ($s_{w_1}^{B_2} = 2000$ кг/сут; $s_{w_2}^{B_2} = 3000$ кг/сут; $s_{w_3}^{B_2} = 3000$ кг/сут); виды упаковки $u^{B_2} = \{u_3; u_4\}$, где u_3 – пакет (15 кг); u_4 – биг-бег (800 кг); стоимость пеллет $c_{w_1, u_3}^{B_2} = 10,3$ руб./кг, $c_{w_1, u_4}^{B_2} = 9,6$ руб./кг, $c_{w_2, u_3}^{B_2} = 8,8$ руб./кг, $c_{w_2, u_4}^{B_2} = 7,6$ руб./кг, $c_{w_3, u_3}^{B_2} = 8,1$ руб./кг, $c_{w_3, u_4}^{B_2} = 6,9$ руб./кг.

В качестве примера рассмотрим следующее состояние функционирования производителя B_2 :

$$h_1^{B_2} = \langle 120000; \{w_1; w_2; w_3\}; \{0; 5000; 8000\};$$

$$\{0; 3000; 0\}; \{u_3; u_4\}; \{\emptyset; \emptyset; 8,8; 7,6; 8,1; 6,9\} \rangle,$$

в данном состоянии осуществляется производство только одного вида пеллет (w_2), на складе имеется некоторый запас пеллет видов w_2 и w_3 .

Перевозчик C_1 имеет в наличии следующие транспортные средства: t_1 – самосвал грузоподъемностью 2500 кг; t_2, t_3 – бортовые автомобили (тент) грузоподъемностью 3000 кг и 4200 кг соответственно; t_4 – манипулятор грузоподъемностью 2100 кг. Тарифы равны: $c_{t_1}^{C_1} = 25$ руб./км; $c_{t_2}^{C_1} = 18$ руб./км; $c_{t_3}^{C_1} = 25$ руб./км; $c_{t_4}^{C_1} = 30$ руб./км. Стоимость разгрузки: самосвал t_1 – 0 руб.; автомобильный кран (для t_2, t_3) – 1500 руб.; манипулятор t_4 – 1000 руб.

Примерами возможных состояний функционирования перевозчика C_1 являются:

- $h_1^{C_1} = \langle \{t_1, t_2, t_3, t_4\}; \{25; 18; 25; 30\}; \{0; 1500; 1500; 1000\} \rangle$ – весь транспорт доступен для заказа (свободен и находится в исправном состоянии);
- $h_2^{C_1} = \langle t_4; 30; 1000 \rangle$ – доступен для заказа только манипулятор, грузоподъемностью 2100 кг.

Перевозчик C_2 имеет в наличии следующие транспортные средства: t_1 – самосвал грузоподъемностью 2500 кг; t_5 – манипулятор грузоподъемностью 3000 кг. Тарифы равны: $c_{t_1}^{C_2} = 25$ руб./км; $c_{t_5}^{C_2} = 33$ руб./км. Стоимость разгрузки та же, что и у перевозчика C_1 .

Возможные состояния функционирования перевозчика C_2 :

- $h_1^{C_2} = \langle \{t_1, t_5\}; \{25; 33\}; \{0; 1000\} \rangle$ – весь транспорт доступен для заказа (свободен и находится в исправном состоянии);
- $h_2^{C_2} = \langle t_1; 25; 0 \rangle$ – доступен для заказа только самосвал грузоподъемностью 2500 кг.

Рассмотрим состояния функционирования системы S при различных сочетаниях состояний функционирования отдельных элементов системы, рассмотренных выше.

Множество состояний функционирования H можно разделить на три подмножества:

- H^a – подмножество состояний функционирования с нормальной работоспособностью элементов, включающее все состояния, в которых обеспечивается поставка потребителю заданного им вида и объема топливных пеллет (запрос потребителя удовлетворяется в полном объеме);
- H^b – подмножество состояний функционирования с частичным отказом отдельных элементов, включающее все состояния, в которых возможна поставка подходящего потребителю вида

топливных пеллет, но иного вида, в иной фасовке, меньшем объеме (из-за нехватки требуемого объема пеллет на складах производителей или отсутствия транспорта заданной грузоподъемности у перевозчиков) и т.д. (запрос потребителя удовлетворяется частично);

– H^k – подмножество критических состояний функционирования с полным отказом системы, когда поставка топливных пеллет потребителю невозможна ввиду полного отсутствия пеллет на складах производителей или отсутствия доступного для заказа транспорта у перевозчика (запрос потребителя не удовлетворяется).

Рассмотрим варианты состояний функционирования системы с нормальной работоспособностью элементов:

1. Состояние $h_1^S = \{h_1^{A_1}; h_1^{B_1}; h_1^{B_2}; h_1^{C_1}; h_1^{C_2}\}$, $h_1^S \in H^n$.

У потребителя склад заполнен пеллетами полностью, необходимости в очередной поставке нет. У производителей имеется определенное количество пеллет разных видов на складах. У перевозчиков имеется свободный транспорт для заказа.

В данном состоянии возможен поиск новых клиентов (потребителей) для производителей и перевозчиков.

2. Состояние $h_2^S = \{h_2^{A_1}; h_2^{B_1}; h_2^{B_2}; h_2^{C_1}; h_2^{C_2}\}$, $h_2^S \in H^n$.

У потребителя запас пеллет на складе равен резервному остатку, вследствие чего возникает необходимость закупки новой партии топлива. Потребитель оформляет заявку и осуществляется поиск производителя пеллет и перевозчика. Потребитель хочет приобрести 2500 кг белых пеллет (вида w_1) в пакетах мелкой фасовки. У первого производителя необходимый объем пеллет требуемого вида имеется в наличии на складе, стоимость 1 кг пеллет в пакетах по 10 кг составляет 10,6 руб./кг. У второго производителя необходимый объем пеллет отсутствует на складе. У первого и второго перевозчика весь имеющийся транспорт доступен для заказа.

Потребитель приобретает 2500 кг белых пеллет вида w_1 (250 пакетов по 10 кг) у первого производителя по цене 10,6 руб./кг. Исходя из минимальной стоимости доставки, у первого перевозчика заказывается бортовой автомобиль грузоподъемностью 3000 кг по стоимости 18 руб./км (t_2). Разгрузка осуществляется вручную.

Общая стоимость топливных пеллет с доставкой и с учетом будет равна:

$$2500 \cdot 10,6 + 30 \cdot 18 = 26500 + 540 = 27040 \text{ руб.}$$

Рассмотрим состояние функционирования системы с частичным отказом элементов:

$$h_3^S = \{h_3^{A_1}; h_3^{B_1}; h_3^{B_2}; h_3^{C_1}; h_3^{C_2}\}, h_3^S \in H^n.$$

Состояние потребителя то же, что и в

предыдущем случае. В связи с тем, что белых пеллет (вида w_1) нет на складах ни первого, ни второго производителя, потребителю приходится приобретать серые пеллеты (вида w_2) в пакетах по 15 кг у второго производителя по цене 8,8 руб./кг (167 пакетов по 15 кг, что в сумме составляет 2490 кг).

Единственный возможный вариант транспортировки пеллет в данном состоянии – это заказ у второго перевозчика самосвала грузоподъемностью 2500 кг по тарифу 25 руб./км. Разгрузка осуществляется вручную.

Общая стоимость топливных пеллет с доставкой будет равна:

$$2490 \cdot 8,8 + 35 \cdot 25 = 21912 + 875 = 22787 \text{ руб.}$$

Итоговая стоимость топливных пеллет получилась ниже, чем в предыдущем случае, но это связано с вынужденной закупкой пеллет более низкого качества, чем планировалось потребителем. В то же время, стоимость доставки возросла в связи с большим расстоянием и отсутствием возможности заказа транспорта по более дешевому тарифу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрена формализованная информационная модель процесса транспортировки биотоплива от производителей к потребителям на множестве состояний функционирования. Выделены основные факторы, оказывающие влияние на изменения состояний функционирования основных участников процесса транспортировки (потребителей, производителей и перевозчиков). Приведен практический пример информационной модели процесса транспортировки биотоплива и показаны возможные состояния функционирования системы в различных производственных ситуациях.

Практическая реализация предложенной информационной модели планируется в виде реляционной базы данных, использование которой в клиент-серверной информационно-управляющей системе процессом транспортировки биотоплива, позволит создать единую информационную среду для взаимосвязанной работы всех участников процесса (потребителей, производителей и перевозчиков).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90056.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зайченко, В.М. Торрефикация древесных пеллет: новые решения [Текст] / В.М. Зайченко, В.Я. Штеренберг // Теплоэнергетика. – 2017. – № 10. – С. 33–42.
2. Залукаева, Н.Ю. Концепция построения информационно-управляющей системы процессом транспортировки биотоплива [Текст] / Н.Ю. Залукаева, А.А. Гуськов // Материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов “Энергосбережение и эффективность в технических системах”. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2019. – С. 109–110.

3. Муромцев, Ю.Л. Моделирование и оптимизация технических систем при изменении состояний функционирования [Текст] / Ю.Л. Муромцев, Л.Н. Ляпин, О.В. Попова. – Воронеж: ВГУ, 1992. – 164 с.

Грибков Алексей Николаевич – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», тел. (4752)630448, e-mail: GribkovAlexey@yandex.ru.

Залукаева Наталья Юрьевна – аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», тел. (4752)630448, e-mail: NatashaZalukaeva@yandex.ru.

INFORMATION MODEL OF THE BIOFUEL TRANSPORTATION PROCESS FROM PRODUCERS TO CONSUMERS ON A SET OF OPERATING STATES

A.N. Gribkov, N.Yu. Zalukaeva

Tambov State Technical University, Tambov

Currently, the topic of using fuel resources from renewable and environmentally friendly raw materials, such as fuel pellets, is gaining increasing interest. Despite the large number of scientific works devoted to the issues of biofuel production and optimization of transport processes, there is an insufficient study of the topic of uninterrupted supply of fuel pellets to end users, taking into account the transport characteristics of biofuels. It should be noted that the number of consumers of biofuels all over the world is constantly increasing, which is obviously associated with the prospects and advantages of using fuel pellets as energy resources. In this regard, the problem of uninterrupted supply of consumers with biofuels becomes very urgent. The solution to this problem is possible on the basis of an integrated approach using modern advances in information technology, the theory of transport processes, the theory of optimal systems and artificial intelligence methods. The process of transporting fuel pellets from many producers to many consumers is a complex system that is constantly evolving and dynamically changing its state of functioning. This system includes many interrelated internal and external variables that determine its current state of functioning at a particular point in time. The possible states of the system during long-term operation reflect the set of states of functioning, in which, along with the states of normal operability, states with partial and complete failure of system elements are also taken into account. The main purpose of the system functioning is associated with minimization of time and material costs for the implementation of uninterrupted supplies of biofuel. The article discusses theoretical aspects and a practical example of building an information model of the process of transporting fuel pellets from producers to consumers on a variety of states of operation.

REFERENCES

1. Zaichenko, V.M., and V.Y. Shterenberg, "Torrefaction of wood pellets: new solutions," *Thermal Engineering*, no. 10, pp. 32–42, Oct. 2017.
 2. Zalukaeva, N.Yu., and A.A. Guskov, "The concept of building an information and control system for the biofuel transportation process," *Proceedings of VI International scientific and technical conference of students, researchers and specialists "Energy-saving and efficiency in technical systems"*, Tambov, RU, pp. 109–110, Jun. 2019.
 3. Muromcev, Yu.L., L.N. Lyapin, and O.V. Popova, *Modelling and optimization of complex systems when changes in the state functioning*. Voronezh: Publishing house of Voronezh state University, 1992.
- Gribkov Alexey Nickolaevich – Doctor of Sciences, Head of Department «Enterprise Energy Supply and Heat Engineering», Tambov State Technical University, (4752)630448, e-mail: GribkovAlexey@yandex.ru*
- Zalukaeva Nataliya Yuryevna – Postgraduate, Tambov State Technical University, (4752)630448, e-mail: natashazalukaeva@yandex.ru.*