

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ДО ПОТРЕБИТЕЛЯ

Н. Ю. Залукаева, А. Н. Грибков

*Кафедра «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»,
teplotehnika@mail.tstu.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: алгоритм управления; информационно-управляющая система; множество состояний функционирования; процесс распределения; топливные пеллеты.

Аннотация: Рассмотрены теоретические и практические аспекты построения информационно-управляющей системы, обеспечивающей оптимальное управление процессом распределения топливных пеллет от производителей к потребителям. Приведены математические модели участников процесса распределения биотоплива на множестве состояний функционирования. Сформулирована постановка задачи управления процессом распределения топливных пеллет. Рассмотрен алгоритм ее решения на конкретном примере. Показана программно-техническая реализация информационно-управляющей системы.

Введение

В современной энергетике четко наметились тенденции к переходу на возобновляемые источники энергии. Значительное внимание уделяется вопросам использования в системах теплоснабжения экологически чистого биотоплива в виде топливных пеллет, произведенных из возобновляемого сырья (древесных опилок, лузги подсолнечника, соломы и т.д.) [1, 2].

В связи с непрерывным увеличением числа производителей и потребителей биотоплива, процесс его распределения становится все более сложным. Производимые в настоящее время пеллетные котлы имеют высокую мощность и их можно использовать для отопления зданий больших площадей, но при этом увеличивается частота заказов топливных пеллет потребителями.

Для обеспечения бесперебойных поставок биотоплива возникает необходимость частого мониторинга рынка топливных пеллет для осуществления своевременной закупки биотоплива. Данный процесс может занимать достаточно весомое количество времени для потребителя и не всегда поиск заканчивается выбором оптимального варианта. Применение современных информационных технологий позволит значительно сократить временные затраты и оптимизировать процесс поиска поставщиков и перевозчиков биотоплива.

Для решения задачи мониторинга и управления процессом распределения топливных пеллет предлагается использовать информационно-управляющую систему (ИУС), которая позволит создать единую информационную среду для взаимосвязанной работы всех участников процесса распределения (потребителей, производителей и перевозчиков топливных пеллет).

Формализация и математическая постановка задачи оптимального управления процессом распределения топливных пеллет

Одним из ключевых этапов построения любой системы управления является формализация и постановка задачи управления, учитывающая все основные особенности управляемого процесса и рассматриваемой предметной области. Значительное внимание на данном этапе уделяется вопросам построения моделей, описывающих исследуемый процесс с достаточной степенью полноты и точности.

Начальный этап формализации задачи может быть выполнен на основе разработки и анализа функциональной модели процесса распределения топливных пеллет. Модель позволит не только оценить эффективность применения ИУС, но и выявить возможные недостатки на ранних стадиях ее проектирования.

Рассмотрим контекстную диаграмму процесса распределения топливных пеллет в нотации IDEF0, отражающую взаимодействие моделируемого процесса с окружающей средой (рис. 1).

На вход поступает информация о топливных пеллетах I_1 , участниках процесса распределения I_2 и сроках поставки пеллет I_3 . Выходами являются непосредственные поставки пеллет O_1 , а также технико-экономические показатели процесса O_2 . Управления – нормативно-правовая документация C_1 и методические материалы C_2 , регламентирующие процесс распределения на всех этапах. В качестве механизмов выступают: M_1 – персонал предприятий производителей и перевозчиков биотоплива; M_2 – средства коммуникации; M_3 – транспортные и погрузочно-разгрузочные средства; M_4 – дорожная и складская инфраструктура; M_5 – информационно-управляющая система.

Для выполнения дальнейшей формализации задачи рассмотрим ключевые особенности рассматриваемой предметной области.

Технические характеристики топливных пеллет приведены в ГОСТ 33103.1–2017 и ГОСТ 33103.2–2017 «Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива», согласно которым производимые пеллеты могут иметь различные характеристики (размеры, влагосодержание, зольность, насыпную плотность, низшую теплоту сгорания и т.д.). Применяемые для сжигания пеллет котлы могут в качестве топлива использовать как все, так и определенные виды пеллет. Для дальнейшего использования обозначим множество видов топливных пеллет

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_{n_w}\}, \quad (1)$$

где $w_x, x = \overline{1, n_w}$ – конкретный вид топливных пеллет.

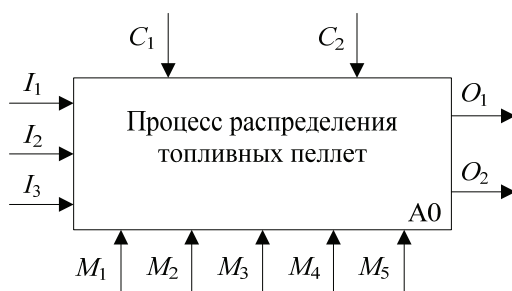


Рис. 1. Контекстная диаграмма

Задача распределения топливных пеллет рассматривается с точки зрения возможности их доставки автомобильным транспортом, при этом предельное расстояние между производителями и потребителями биотоплива не превышает 700 км. Выбор вида транспортного средства (ТС) для перевозки пеллет во многом зависит от их веса и типа упаковки. Множество видов ТС, различающихся типом (бортовой, самосвал и т.д.) и грузоподъемностью, обозначим

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_{n_t}\}, \quad (2)$$

где $t_z, z = \overline{1, n_t}$ – конкретный вид ТС.

Процесс распределения топливных пеллет включает в себя множество участников: потребителей $A_i, i = \overline{1, n_a}$; производителей $B_j, j = \overline{1, n_b}$; перевозчиков $C_k, k = \overline{1, n_c}$.

Одним из наиболее эффективных подходов к моделированию сложных процессов и систем является представление их на множестве состояний функционирования (МСФ) [3, 4]. Сформулируем математическую постановку задачи управления процессом распределения топливных пеллет на МСФ.

Исходными данными задачи являются множество участников процесса распределения, состояния функционирования которых описываются кортежами [5]:

$$h^{A_i} = \langle p^{A_i}; w^{A_i}; r^{A_i}; o_{\Sigma}^{A_i}; d_{w_x}^{A_i}; f_{\Sigma}^{A_i} \rangle; \quad (3)$$

$$h^{B_j} = \langle p^{B_j}; w^{B_j}; g_{\Sigma}^{B_j}; s_{\Sigma}^{B_j}; u^{B_j}; c^{B_j} \rangle; \quad (4)$$

$$h^{C_k} = \langle t^{C_k}; c^{C_k}; c_r^{C_k} \rangle, \quad (5)$$

где p^{A_i}, p^{B_j} – вместимость топливных складов потребителя и производителя соответственно; $w^{A_i} \subset W, w^{B_j} \subset W$ – подмножество соответственно потребляемых и производимых видов топливных пеллет; r^{A_i} – резервный остаток топливных пеллет у потребителя; $o_{\Sigma}^{A_i}, g_{\Sigma}^{B_j}$ – текущий суммарный остаток топливных пеллет различных видов у потребителя и производителя соответственно; $d_{w_x}^{A_i}$ – объем возможной разовой закупки топливных пеллет потребителем; $f_{\Sigma}^{A_i}$ – суточное потребление топливных пеллет; $s_{\Sigma}^{B_j}$ – суммарный суточный объем производства топливных пеллет различных видов; u^{B_j} – подмножество типов упаковки производимых пеллет; c^{B_j} – множество, содержащее стоимость пеллет; $t^{C_k} \subset T$ – подмножество ТС, имеющих в наличии у перевозчика; c^{C_k} – множество, содержащее значение тарифа за перевозку; $c_r^{C_k}$ – стоимость разгрузки пеллет у потребителя.

При решении задачи необходимо учитывать следующие ограничения: на время организации поставки топливных пеллет потребителю; на текущий остаток топливных пеллет у потребителя; на объем разовой поставки биотоплива; на виды поставляемых пеллет.

В качестве критериев при синтезе оптимальных решений могут рассматриваться: общий критерий (минимум общей стоимости закупки партии топливных пеллет для потребителя); частные критерии (возможность закупки требуемого объема пеллет заданного вида; приоритетность видов закупаемых пеллет, типов упаковки пеллет, вида ТС).

Для решения задачи мониторинга и управления процессом распределения (обеспечения бесперебойных поставок) необходимо для каждого потребителя, которому требуется поставка пеллет, синтезировать управляющее решение, заключающееся в подборе поставщика (производителя) и перевозчика, то есть управляющее решение можно представить в виде «тройки»

$$U(\bullet) = (A_z; B_z; C_z), \quad (6)$$

где A_z – потребитель, которому необходима поставка пеллет; B_z, C_z – «оптимальные» по заданным критериям соответственно производитель и перевозчик, обеспечивающие поставку топливных пеллет потребителю.

Алгоритмическое обеспечение информационно-управляющей системы

Для решения сформулированной задачи разработан алгоритм, основанный на совместном использовании методов классификации, искусственного интеллекта и многокритериальной оптимизации. Рассмотрим основные этапы алгоритма более подробно.

На первом этапе осуществляется идентификация текущего состояния функционирования каждого элемента процесса распределения. При этом для потребителей определяется необходимость подачи заявки на поставку; производителей – возможность выполнять поставки топливных пеллет; перевозчиков – наличие свободного и исправного транспорта.

На втором этапе формируются заявки от потребителей на поставку топливных пеллет. В каждой заявке потребителя R^{A_z} отражаются данные о приоритетности видов топливных пеллет $W_R^{A_z} = \langle w_{R,1}^{A_z}, w_{R,2}^{A_z}, \dots, w_{R,n_{WR}}^{A_z} \rangle$ и их упаковки $U_R^{A_z} = \langle u_{R,1}^{A_z}, u_{R,2}^{A_z}, \dots, u_{R,n_{UR}}^{A_z} \rangle$, размере поставки $d_R^{A_z}$, приоритетности видов ТС $T_R^{A_z} = \langle t_{R,1}^{A_z}, t_{R,2}^{A_z}, \dots, t_{R,n_{TR}}^{A_z} \rangle$.

На третьем этапе анализируется состояние каждого потенциального производителя и перевозчика на соответствие требованиям, изложенным в заявке. Анализ проводится с использованием системы продукционных правил:

(ПВ1): ЕСЛИ $w^{B_j} \not\subset W_R^{A_z}$ ИЛИ $u^{B_j} \not\subset U_R^{A_z}$ ТО $B_j \notin B_R$;

(ПВ2): ЕСЛИ $w_{R,1}^{A_z} \in w^{B_j}$ И $u_{R,1}^{A_z} \in u^{B_j}$ И $d_R^{A_z} > g_{w_{R,1}^{A_z}}^{B_j}$ ТО $B_j \in B_R^C$;

(ПВ3): ЕСЛИ $w_{R,1}^{A_z} \notin w^{B_j}$ И $W_R^{A_z} \cap w^{B_j} \neq \emptyset$ ТО $B_j \in B_R^O$;

(ПС1): ЕСЛИ $t_R^{A_z} \not\subset t^{C_k}$ ТО $C_k \notin C_R$;

(ПС2): ЕСЛИ $t_{R,1}^{A_z} \in t^{C_k}$ ТО $C_k \in C_R^C$;

(ПС3): ЕСЛИ $t_{R,1}^{A_z} \notin t^{C_k}$ И $T_R^{A_z} \cap t^{C_k} \neq \emptyset$ ТО $C_k \in C_R^O$.

При помощи производционных правил формируются множества производителей B_R и перевозчиков C_R , способных выполнить заявку потребителя с учетом ограничений задачи. В подмножества $B_R^C \in B_R$ и $C_R^C \in C_R$ включаются все производители и перевозчики, оптимальные по частным критериям. В подмножества $B_R^O \in B_R$ и $C_R^O \in C_R$ – «квазиоптимальные» производители и перевозчики, которые не являются оптимальными по одному или нескольким частным критериям, то есть имеющие в наличии пеллеты, фасовку и транспорт, входящие в заявку потребителя, но не в первом приоритете.

На четвертом этапе происходит формирование оптимальных «троек» – «потребитель – производитель – перевозчик» по минимуму общего критерия. Также формируются квазиоптимальные «тройки», которые не являются оптимальными по одному или нескольким частным критериям. Квазиоптимальными решениями потребитель может воспользоваться при отсутствии оптимальных или по своему усмотрению.

Программно-техническая реализация системы

Для обеспечения взаимодействия всех участников процесса распределения в рамках единой информационной среды выбрана двухуровневая архитектура программного обеспечения ИУС типа «клиент – сервер» (рис. 2). Вся информация о потребителях, производителях и перевозчиках хранится в серверной части программного обеспечения ИУС. Там же осуществляются все процессы анализа, сравнения и формирования оптимальных решений.

Программное обеспечение серверной части ИУС включает следующие компоненты [6]:

- объектно-ориентированную базу знаний (**БЗ**), реализующую алгоритмическое обеспечение системы;
- реляционную базу данных (**БД**), которая содержит информацию о параметрах участников процесса распределения топливных пеллет и результатах работы системы;
- интегрированную среду разработки (**ИСР**), предназначенную для внесения изменений в базу знаний и настройки системных параметров программных модулей;
- подсистему графического интерфейса пользователя (**ИП**);
- модуль идентификации состояний функционирования (**ИСФ**) процесса распределения топливных пеллет и его отдельных участников;
- модуль синтеза управляющих решений (**СУР**) в соответствии с описанным выше алгоритмом;
- модуль прогнозирования и имитационного моделирования (**ПИМ**), позволяющий проводить оценку эффективности возможных управляющих решений с учетом прогнозирования смены состояний функционирования элементов системы распределения топливных пеллет.

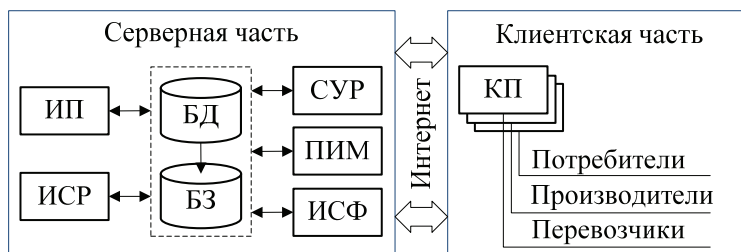


Рис. 2. Структура программного обеспечения ИУС

Программное обеспечение клиентской части ИУС устанавливается на рабочих местах участников процесса распределения. Клиентские программы (КП) предоставляют доступ к функционалу серверных компонентов ИУС.

Техническое обеспечение ИУС реализовано на базе стандартных персональных компьютеров, ноутбуков и мобильных устройств.

Практический пример

В качестве исходных данных задачи выбраны производители, занимающиеся поставками топливных пеллет на территории Тамбовской области. Всего выбрано шесть производителей (B_1, \dots, B_6), которые изготавливают пеллеты из различного сырья, разной фасовки. В таблице 1 представлены параметры производителей, необходимые для идентификации их состояния функционирования.

Производимые виды топливных пеллет и их обозначения: w_1 – серые пеллеты; w_2 – агропеллеты (лузга подсолнечника); w_3 – белые пеллеты; w_4 – пеллеты МДФ; w_5 – индустриальные пеллеты. Типы упаковки пеллет: u_1 – биг-бэг; u_2 – мешки мелкой фасовки; u_3 – россыпь.

Потребителями являются социальные объекты, расположенные на территории Тамбовской области. Всего выбрано пять потребителей (A_1, \dots, A_5), отличающихся размером отапливаемой площади, видом котельного оборудования, приоритетностью пеллет, фасовки и видов ТС (табл. 2).

В качестве перевозчиков выбраны организации и индивидуальные предприниматели, предоставляющие услуги по транспортировке грузов. Всего выбрано пять перевозчиков (C_1, \dots, C_5), которые отличаются видами предоставляемых ТС и тарифными ставками.

Таблица 1

Параметры производителей топливных пеллет

Параметр		Код производителя					
		B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
Остаток топливных пеллет g^{B_j} , т	w_1	40	15	–	–	–	50
	w_2	–	–	120	–	20	30
	w_3	–	–	–	35	45	30
	w_4	–	–	–	–	–	25
	w_5	–	–	–	–	–	55
Типы упаковки u^{B_j}	u_1	+	+	+	+	+	+
	u_2	–	+	–	+	+	+
	u_3	–	+	+	–	–	–
Стоимость c^{B_j} , р./кг	w_1	7	7	–	–	–	7,5
	w_2	–	–	4,2	–	6,0	5,5
	w_3	–	–	–	$u_1 - 9,2$ $u_2 - 10$	9,0	11
	w_4	–	–	–	–	–	7,5
	w_5	–	–	–	–	–	5,5

Параметры потребителей топливных пеллет

Параметр		Код потребителя				
		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Остаток топливных пеллет o^{A_i} , т		20	3	40	1	10
Приоритет видов пеллет	w_1	1	1	1	2	1
	w_2	4	3	–	–	–
	w_3	2	2	2	1	2
	w_4	3	4	3	–	–
	w_5	5	5	–	–	3
Приоритет видов упаковки	u_1	1	1	1	–	–
	u_2	2	–	–	1	1
	u_3	–	2	2	2	2
Приоритет вида транспортного средства	t_1	–	–	–	–	4
	t_2	1	–	–	–	3
	t_3	–	2	1	3	–
	t_4	–	–	–	–	–
	t_5	3	–	2	–	1
	t_6	–	3	3	2	–
	t_7	2	1	4	1	2
Объем разовой закупки $d_{w_x}^{A_i}$, т		20	20	40	10	10
Резервный остаток r^{A_i} , кг		2525	2144	7364	937	543

Условные обозначения видов ТС, имеющихся в наличии у перевозчиков: t_1, t_2, t_5 – бортовые с крытым кузовом (тент), грузоподъемностью соответственно 2, 5 и 10 т; t_3 – седельный тягач с полуприцепом (тент), грузоподъемность – 20 т; t_4 – бортовой с открытым кузовом, грузоподъемность – 3 т; t_6 – самосвал, грузоподъемность – 25 т; t_7 – бортовой автомобиль с краноманипуляторной установкой (КМУ), грузоподъемность – 20 т.

В таблице 3 представлены параметры перевозчиков на момент подачи заявок потребителями. В результате проведенного анализа выявлено, что очередная поставка топливных пеллет требуется потребителям A_2 и A_4 , так как у них значение текущего остатка топливных пеллет на складе приближается к значению резервного остатка. Остальные потребители в настоящий момент в поставке пеллет не нуждаются, поэтому не участвуют в процессе распределения.

В соответствии с рассмотренным выше алгоритмом, анализ текущих состояний функционирования и отбор производителей и перевозчиков в соответствии с заявками потребителей осуществлялся при помощи системы производственных правил (ПВ1) – (ПВ3) и (ПС1) – (ПС3).

Результаты анализа:

– (ПВ1): A_2 – все производители могут участвовать в процессе распределения; A_4 – производители B_1 и B_3 исключаются из дальнейшего рассмотрения, так как у B_1 отсутствуют нужные типы упаковки пеллет u_2 или u_3 , а у B_3 отсутствуют пеллеты требуемых видов w_1 или w_3 ;

Параметры перевозчиков

Код перевозчика	Характеристика		
	Вид ТС	Тариф C^{C_k}	Количество, ед.
C_1	t_1	600 р./ч	1
C_2	t_2	35 р./км	3
C_3	t_3	30 р./км	2
	t_4	9 р./км	1
	t_2	16 р./км	2
	t_5	27 р./км	2
C_4	t_6	2 000 р./ч + 20 р./км по трассе	2
C_5	t_7	1 700 р./ч	1

– (ПВ2): A_2 – оптимальными по приоритетности являются производители B_1 и B_6 ; A_4 – оптимальными по приоритетности являются производители B_4, \dots, B_6 ;

– (ПВ3): A_2 – квазиоптимальными являются производители B_2, \dots, B_5 ; A_4 – квазиоптимальными являются производители B_2 и B_6 ;

– (ПС1): A_2, A_4 – перевозчики C_1, C_2 исключаются из дальнейшего рассмотрения, как не имеющие необходимых видов ТС;

– (ПС2): A_2, A_4 – перевозчик C_5 является оптимальным выбором;

– (ПС3): A_2, A_4 – квазиоптимальными перевозчиками являются C_3, C_4 .

Окончательная стоимость приобретения топливных пеллет для потребителя сложится из стоимости самих пеллет и стоимости транспортировки, которая зависит от расстояния. В случае доставки пеллет на бортовом ТС или седельном тягаче с полуприцепом (t_1, \dots, t_5) для разгрузки необходимо нанять автокран за дополнительную стоимость.

По результатам расчетов, для потребителя A_2 оптимальным решением является: $U(\bullet) = (A_2; B_1; C_5)$; общая стоимость – 151 900 р.; вид пеллет – серые w_1 ; объем закупки – 20 т; стоимость пеллет – 140 000 р.; транспортировка осуществляется на бортовом ТС с КМУ t_7 ; стоимость транспортировки – 11 900 р.; расстояние транспортировки – 89 км.

В качестве квазиоптимальных (альтернативных) решений предлагаются следующие:

– $U_1^{KB} = (A_2; B_3; C_3)$; общая стоимость – 95 440 р.; вид пеллет – агропеллеты w_2 ; объем закупки – 20 т; стоимость пеллет – 64 000 р.; транспортировка осуществляется седельным тягачем с полуприцепом (тент) t_3 ; стоимость транспортировки – 7 440 р.; стоимость найма автокрана – 4 000 р.; расстояние транспортировки – 124 км;

– $U_2^{KB} = (A_2; B_5; C_5)$; общая стоимость – 191 900 р.; вид пеллет – белые w_3 ; объем закупки – 20 т; стоимость пеллет – 180 000 руб.; транспортировка осуществляется на бортовом ТС с КМУ t_7 ; стоимость транспортировки – 11 900 р.; расстояние транспортировки – 95 км.

Для потребителя A_4 оптимальным решением является: $U(\bullet) = (A_4; B_5; C_5)$; общая стоимость – 100 500 р.; вид пеллет – белые w_3 ; объем закупки – 10 т; стоимость пеллет – 90 000 р.; транспортировка осуществляется на бортовом ТС с КМУ t_7 ; стоимость транспортировки – 8 500 р.; расстояние транспортировки – 104 км.

В качестве квазиоптимального решения предлагается: $U_1^{KB} = (A_4; B_2; C_3)$; общая стоимость – 80 420 р.; вид пеллет – серые w_1 ; объем закупки – 10 т; стоимость пеллет – 70 000 р.; транспортировка осуществляется седельным тягачом с полуприцепом (тент) t_3 ; стоимость транспортировки – 6 420 руб.; стоимость найма автокрана – 4 000 р.; расстояние транспортировки – 107 км.

Необходимо отметить, что в предложенных квазиоптимальных решениях общая стоимость может быть ниже или выше, чем в оптимальном. Данное обстоятельство в основном связано с различием в видах закупаемых пеллет и их стоимостью.

Заключение

Рассмотрены основные этапы разработки алгоритмического обеспечения и программно-технической реализации информационно-управляющей системы распределения топливных пеллет. Практическое применение информационно-управляющей системы обеспечивает решение задачи бесперебойной поставки топливных пеллет от производителей к потребителям с минимизацией временных и материальных затрат.

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

Список литературы

1. Зайченко, В. М. Торрефикация древесных пеллет: новые решения / В. М. Зайченко, В. Я. Штеренберг // Теплоэнергетика. – 2017. – № 10. – С. 33 – 42. doi: 10.1134/S0040363617100113
2. Кривокоченко, Л. В. Мировой рынок древесных топливных гранул: современное состояние и перспективы развития / Л. В. Кривокоченко // Российский внешнеэкономический вестник. – 2021. – № 7. – С. 61 – 73. doi: 10.24411/2072-8042-2021-7-61-73
3. Муромцев, Ю. Л. Моделирование и оптимизация технических систем при изменении состояний функционирования / Ю. Л. Муромцев, Л. Н. Ляпин, О. В. Попова. – Воронеж : Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1992. – 164 с.
4. Муромцев, Д. Ю. Анализ и синтез радиосистем на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, Ю. Л. Муромцев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 2. – С. 241 – 251.
5. Грибков, А. Н. Информационная модель процесса транспортировки биотоплива от производителей к потребителям на множестве состояний функционирования / А. Н. Грибков, Н. Ю. Залукаева // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 3 (37). – С. 19 – 25. doi: 10.25699/SSSB.2021.37.3.017
6. Залукаева, Н. Ю. Объектно-ориентированная модель базы знаний информационно-управляющей системы процессом распределения топливных пеллет / Н. Ю. Залукаева, А. Н. Грибков // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – № 1 (41). – С. 65 – 69.

Information and Control System of Distribution of Fuel Pellets from the Manufacturer to the Consumer

N. Yu. Zalukaeva, A. N. Gribkov

*Department of Energy Supply of Enterprises and Heat Engineering,
teplotehnika@mail.tstu.ru; TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: control algorithm; information and control system; a set of functioning states; distribution process; fuel pellets.

Abstract: This article discusses the theoretical and practical aspects of building an information and control system that provides optimal control of the process of distribution of fuel pellets from producers to consumers. Mathematical models of participants in the biofuel distribution process on a set of functioning states are presented. The formulation of the problem of controlling the process of distribution of fuel pellets is formulated and the algorithm of its solution is considered on a specific example. The software and technical implementation of the information and control system is shown.

References

1. Zajchenko V.M., Shterenberg V.Ya. [Torrefaction of wood pellets: new solutions], *Teploenergetika* [Thermal Engineering], 2017, no. 10, pp. 32-42, doi: 10.1134/S0040363617100113 (In Russ., abstract in Eng.)
2. Krivokochenko L.V. [Wood pellet market: current state and prospects], *Rossijskij vneshneekonomicheskij vestnik* [Russian Foreign Economic Journal], 2021, no. 7, pp. 61-73, doi: 10.24411/2072-8042-2021-7-61-73 (In Russ., abstract in Eng.)
3. Muromtsev Yu.L., Lyapin L.N., Popova O.V., *Modelirovanie i optimizaciya tekhnicheskikh sistem pri izmenenii sostoyanij funkcionirovaniya* [Modelling and optimization of complex systems when changes in the state functioning], Voronezh: Publishing house of Voronezh state University, 1992, 164 p. (In Russ.)
4. Muromtsev D.Yu., Muromtsev Yu.L. [Analysis and synthesis of radio systems on a set of functioning states], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2008, vol. 14, no. 2, pp. 241-251. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Gribkov A.N., Zalukaeva N.Yu. [Information model of the biofuel transportation process from producers to consumers on a set of operating states], *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik* [South-Siberian Scientific Bulletin], 2021, no. 3 (37), pp. 19-25, doi: 10.25699/SSSB.2021.37.3.017 (In Russ., abstract in Eng.)
6. Zalukaeva N.Yu., Gribkov A.N. [Object-oriented model of the knowledge base of the information and control system for the fuel pellets distribution], *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik* [South-Siberian Scientific Bulletin], 2022, no. 1 (41), pp. 65-69. (In Russ., abstract in Eng.)

Information- und Steuerungssystem der Verteilung von Brennstoffpellets vom Hersteller zum Verbraucher

Zusammenfassung: Theoretische und praktische Aspekte des Aufbaus des Informationsmanagementsystems, das optimale Kontrolle über den Prozess der Verteilung von Brennstoffpellets von Herstellern zu Verbrauchern bietet, sind betrachtet. Es sind mathematische Modelle der Teilnehmer am

Biokraftstoffverteilungsprozess auf einer Reihe funktionierender Zustände vorgestellt. Es ist die Aufgabe über das Problem der Steuerung des Verteilungsprozesses von Brennstoffpellets formuliert. An einem konkreten Beispiel ist der Algorithmus zu seiner Lösung betrachtet. Die Software- und Hardwareimplementierung des Informations- und Steuersystems ist gezeigt.

Système de gestion d'information de la distribution des granulés de combustible du producteur au consommateur

Résumé: Sont examinés les aspects théoriques et pratiques de la construction d'un système de gestion et d'information assurant une gestion optimale du processus de la distribution des granulés de combustible à partir des fabricants jusqu'aux consommateurs. Sont présentés les modèles mathématiques des participants au processus de distribution des biocarburants sur un ensemble d'états du fonctionnement. Est formulé le problème de la gestion du processus de la distribution des granulés de combustible. Est examiné l'algorithme de la résolution à l'exemple concret. Est montrée la mise en œuvre logicielle et technique du système de gestion de l'information.

Авторы: *Залукаева Наталия Юрьевна* – аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»; *Грибков Алексей Николаевич* – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.