

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЙ ГРАФИК ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ В УНИВЕРСАЛЬНОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ АВТОВЕДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

А. П. КЕЙЗЕР, Е. А. ЖИДКОВА, Е. В. ФЕДЧЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Бурное развитие информационных технологий во всех сферах человеческой деятельности существенно повысило эффективность всех АСУ, в том числе систему управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ). То, что вчера казалось фантастикой, в настоящее время стало реальностью. Компьютеризированы современные локомотивы. Внедрены системы автоведения (САВ) для многих типов локомотивов (особенно в метрополитенах).

В современных условиях график движения поездов (ГДП) должен быть реализован как с позиции скорости доставки грузов, так и с оптимальным потреблением топливно-энергетических ресурсов. В АСУЖТ сегодняшнего и завтрашнего дня тяговые оптимизационные расчеты должны быть внедрены при расчете и реализации каждой нитки графика исполненного движения (ГИД), причем экономия топлива и электроэнергии должны происходить не только с участием машиниста, но и с учетом действий поездного диспетчера.

*Под энергетически эффективным ГДП будем понимать разработанный с помощью ЭВМ график движения, при реализации которого будут участвовать тяговые оптимизационные расчеты по критерию минимального расхода топлива (электроэнергии) с перспективой выхода на систему автодиспетчер-автомашинист.*

Наибольшую сложность представляет внедрение САВ для грузовых поездов. В Белорусском институте инженеров железнодорожного транспорта (ныне Белорусский государственный университет транспорта) в 80-е годы прошлого столетия под руководством к.т.н. А.М. Костромина с активным участием инженеров (ныне кандидатов технических наук) А.П. Кейзера, С.Я. Френкеля, С.И. Сухопарова была разработана и апробирована САВ грузовых поездов при тепловозной тяге. Рассмотрим САВ, в которой математические методы теории оптимального управления будут использованы в реальном масштабе времени.

ЭВМ Единого Диспетчерского Центра Управления (ЕДЦУ), имея оперативный энергоэффективный план-график по четырех- или шестичасовым периодам, зная, на каких промежуточных станциях  $ПС_2 \dots ПС_{n-1}$  поезд сделает остановки, рассчитывает по шагам варьирования  $\Delta SB_j$  матрицы оптимальных режимов ведения

$$n_{K_{j,m}}^{0 \rightarrow \text{ПМП}}, \Delta t B_{j,m}^{0 \rightarrow \text{ПМП}},$$

где  $j$  – номер шага варьирования;  $m$  – индекс, который задает расчетное время хода между станциями  $C_1, C_n$ ;  $C_1$  – станция отправления поезда;  $C_n$  – станция остановки поезда.

Расчет делается с помощью принципа максимума Понтрягина (ПМП) 2  $\psi$ -функции [4, 5].

Одновременно ЭВМ ЕДЦУ рассчитывает еще две матрицы

$$n_{K_{j,m}}^{0 \rightarrow \text{МДП}}, \Delta t B_{j,m}^{0 \rightarrow \text{МДП}}$$

методом динамического программирования (МДП) в виде блуждающей трубки [4,5] с незакрепленным левым (начальная станция  $A$ ) и правым концом (конечная станция диспетчерского участка  $B$ ).

Отдельным расчетом для каждой станции участка строятся кривые разгона (с учетом пробы тормозов при отпущении поезда с начальной станции  $A$ ) на станциях  $A_j$  и торможения на станциях  $A_{j-1}$  по шагам интегрирования. Получаются две дополнительных матрицы  $\Delta TRAS_{j,j}$  (матрица разгона) и  $\Delta TTORM_{L,j}$  (матрица торможения) ( $L$  – номер шага интегрирования,  $j$  – номер станции участка). Эти матрицы передаются на борт локомотива на станции отправления с помощью каналов радиосвязи.

После разгона и пробы тормозов поезд движется по оптимальным кривым  $V(S)$ ,  $t(S)$ , рассчитанным с помощью принципа максимума (2  $\psi$ -функции), используя оптимальные рецепты автоведения на  $k$ -м ПМП,  $\Delta B_{j,m}^{0 \rightarrow \text{ПМП}}$ .

После проследования каждого входного светофора промежуточной станции  $A_j$ , играющего роль обратной связи, ЭВМ ЕДЦУ сравнивает фактическое  $\Delta t_{\phi_j}$  и расчетное  $\Delta t_{p_j}$  время движения поезда на  $j$ -м перегоне. Если  $\Delta t_{\phi_j} > \Delta t_{p_j}$ , ехать дальше надо быстрее ( $M: = M + Mk$ ). Если  $\Delta t_{\phi_j} < \Delta t_{p_j}$ , ехать оптимальным образом надо медленнее ( $M: = M - Mk$ ). Значение  $Mk$ , закодированное в корректировочном байте, передается на борт локомотива после прохождения  $j$ -го входного светофора, играющего роль контрольной точки.

**Оптимальное автоведение поезда при сбоях в графике движения.** Если по какой-то причине произошел сбой (например, у встречного поезда № 3546 появилась существенная техническая неисправность: отказал тяговый электродвигатель на одной из колесных пар – и поезд далее будет двигаться медленнее), ЭВМ ЕДЦУ делает корректировку в оперативном плане-графике. На борт локомотива поезда, который уже проехал часть участка  $A-B$ , передается значение  $M$  (данные на  $k$ -м МДП,  $\Delta B_{j,m}^{0 \rightarrow \text{МДП}}$ ). Далее поезд движется по рецептам оптимального ведения поезда методом динамического программирования.

УДК 620.9:656.2

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ НУЖД ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

С. Н. КОЛДАЕВА, А. Н. ЕКИМЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В условиях ограниченности собственных сырьевых ресурсов в республике и ужесточающихся требований к снижению энергоемкости и импортозависимости производств представляется актуальным поиск технических решений, направленных на интенсификацию использования местных топливно-энергетических ресурсов, в т. ч. горючих отходов деревообработки и растениеводства. В настоящее время имеется положительный опыт внедрения котельных на твердом топливе (щепе) как на деревообрабатывающих предприятиях, так и на объектах ЖКХ. В качестве экспериментальных апробируются котлы, работающие на соломе злаковых культур. Однако, несмотря на очевидный топливно-энергетический потенциал такого быстро возобновляемого ресурса, как солома, пока не удалось достичь бесперебойной работы котельных на этом виде топлива. Это связано, в первую очередь, с низким удельным весом сырья и затруднительной транспортировкой потребного для обеспечения заданной мощности количества соломы с применением шнековых экструдеров. При повышении влажности соломы (неизбежной при открытом хранении в зимний период) повышается ее пластичность и способность обматывать движущиеся части шнека. Наблюдается забивание «мёртвой зоны» шнека с последующим уплотнением соломы в периферийной зоне и выходом из строя транспортера.

Очевидно, что использование горючих отходов в свободно-насыпном состоянии требует выделения дополнительных мест хранения щепы либо соломы, что делает эти виды ресурсов неприемлемыми в помещениях ограниченных объемов.

Существующие технологии брикетирования древесных отходов (формирования топливного брикета) основаны на прессовании мелкодиспергированной древесины (древесная мука) в шнековом экструдере. Под действием температуры и усилия сжатия происходит пластификация лигнина, являющегося естественным связующим. Для достижения потребных потребительских качеств изделия шнек работает под высокими нагрузками при давлении до 200 МПа и температуре до 300 °С, что обуславливает его быстрый износ и потребность в регулярном восстановлении. Соответственно увеличивается себестоимость изделий, что делает нерентабельным их применение в качестве альтернативного топлива.