

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭРГАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Запропоновано методику побудови ергатичної моделі для оцінки техніко-технологічних параметрів залізничних станцій. Наведено результати апробації моделі, що отримані при дослідженні роботи парку прибуття великої сортувальної станції. Для вибору раціонального комплексу організаційно-технічних заходів, що плануються на станції, використані методи векторної оптимізації.

Предложена методика построения эргатической модели для оценки технико-технологических параметров железнодорожных станций. Приведены результаты апробации модели, полученные при исследовании работы парка приема крупной сортировочной станции. Для выбора рационального комплекса организационно-технических мероприятий, планируемых на станции, использованы методы векторной оптимизации.

The report is devoted to a problem of choice of the most effective measure complex for perfection of technical and technological parameters of stations. For the decision of this problem it is offered to use simulation models and methods of vectorial optimization.

Эффективным средством анализа и количественной оценки показателей функционирования железнодорожных станций, их технико-технологических и экономических параметров является имитационное моделирование станционных процессов. Одной из основных проблем, возникающих при создании моделей железнодорожных станций, является имитация действующих систем управления, основным звеном которых является человек-диспетчер (ЧД). Очевидно, что без адекватного моделирования указанных систем невозможно получение достоверной количественной оценки показателей функционирования станций.

Разработке методики имитационного моделирования железнодорожных станций, учитывающей влияние человеческого фактора, посвящено достаточно большое число работ (см. например [1–4]). Так, в работе [1] приведена методика моделирования деятельности ЧД с помощью логических схем алгоритмов (ЛСА) предназначенная для исследования загрузки поездных диспетчеров и дежурных по станции. Анализ деятельности оперативно-диспетчерского персонала (ОДП) показывает, что диспетчер в процессе своей работы обычно решает несколько различных задач одновременно, зачастую требующих взаимно исключающих решений. Построение же ЛСА, учитывающих все многообразие ситуаций в деятельности диспетчера, представляется весьма затруднительным.

Для построения модели деятельности ЧД в [2] разработана методика, в основу которой положены понятия теории информации. Деятельность диспетчера рассматривается как информационный процесс и моделируется как последовательность переходов из одного информативного состояния в другое по мере поступления информации об объекте управления. Предложенную методику рекомендуется использовать для определения загрузки ЧД.

В работах [3; 4] предложена концепция эргатических моделей, в которых лицо, выполняющее моделирование (ЛВМ), принимает непосредственное участие в процессе моделирования и управляет технологическим процессом станции, выполняя функции диспетчера. Указанные модели по своей природе наиболее точно учитывают бихевиоральные факторы, т. е. факторы ассоциированные с поведением человека. Разработанные модели детально имитируют технологические процессы станций и весьма эффективны при создании компьютерных тренажеров ОДП [6]. Однако, использование указанных моделей для количественной оценки параметров станций осложняется достаточно большими затратами времени, необходимого для моделирования работы станции в течение заданного периода времени.

Таким образом, для оценки параметров функционирования станций необходимо создание имитационной модели, учитывающей, с одной стороны, влияние человеческого факто-

ра, а с другой – уменьшение затрат времени на моделирование работы станции.

В этой связи поставлена задача разработки функциональной модели станции (ФМС), ориентированной на решение задачи оценки технико-технологических параметров станций.

ФМС строится на основе эргатической модели, позволяющей устранить указанные выше недостатки. С учетом этого обстоятельства в данной статье сформулированы принципы построения эргатических моделей, предназначенных для определения технико-эксплуатационных параметров станций:

- наличие в ФМС информационной модели станции, обладающей средствами для оценки текущей ситуации и передачи управляющих решений ЛВМ в ФМС;
- выбор очередности обработки и маршрутов движения транспортных объектов лицом, осуществляющим моделирование;
- имитация передвижений подвижного

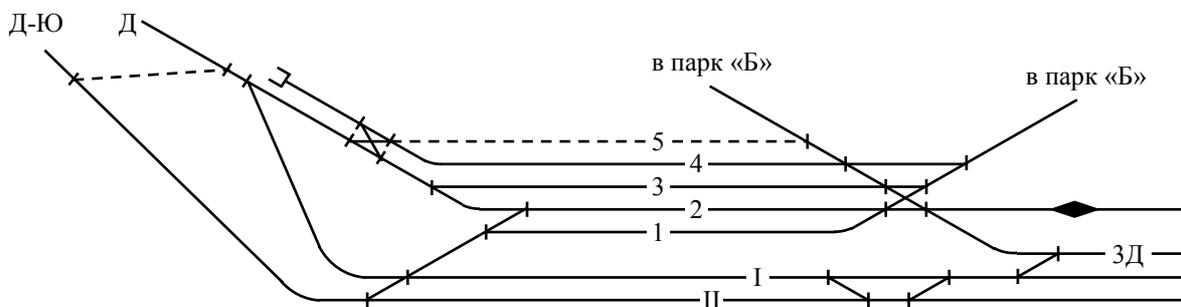


Рис. 1. Схема путевого развития ППП с возможными вариантами реконструкции

При создании моделей ЭЦ и ИМ использован новый подход, целью которого является минимизация времени, необходимого для формализации технического оснащения конкретной станции. Это существенно ускорит тиражирование МОПС для железнодорожных станций сети дорог Украины. Ниже изложены основные принципы построения указанных моделей.

В МОПС процесс функционирования электрической централизации реализован с помощью разработанной модели управления перемещениями подвижного состава (УППС), которая решает задачи:

- контролирует процесс приготовления маршрутов, что исключает возможность враждебных передвижений;
- передает и принимает минимум информации от ЛВМ с помощью ИМ.
- В этой связи УППС выполняет следующие функции:
 - контролирует состояния путевых и стрелочных изолированных секций (ИС) станции;

состава по станции с отображением в информационной модели;

- максимальное ускорение системного времени в случаях, когда технологический процесс строго формализован и не требует вмешательства ЛВМ;
- автоматический переход в реальный масштаб системного времени на период принятия решений ЛВМ.

В статье приведена методика создания эргатической модели для количественной оценки параметров станции (МОПС). Указанная модель разработана на основе изложенных выше принципов для парка приема (ПП) крупной сортировочной станции, схема которого приведена на рис.1. При создании модели использованы отдельные модули, разработанные ранее [3, 5]. В состав МОПС включены модели путевого развития станции (МПР), электрической централизации (ЭЦ), технологического процесса (МТП) и информационная модель (ИМ).

- имитирует перевод стрелок и переключение светофоров по маршрутам движения;
- синхронизирует состояния динамических элементов ИМ с состоянием модели путевого развития на каждом шаге моделирования;
- обрабатывает команды от моторных элементов информационной модели (кнопок).

УППС построена на основе взвешенного ориентированного графа $G(V, E)$. Множество вершин графа V делится на два подмножества вершин: стрелочные переводы V^S (вершины S-типа) и сигналы V^C (вершины C-типа). Дугам графа $e \in E$ соответствуют изолированные путевые участки системы ЭЦ.

В памяти ЭВМ граф G представлен списком дуг, где каждая дуга задана начальной и конечной вершиной. Ориентация дуг графа принята слева направо. Для реализации моделируемых функций граф схемы G дополняется списками технических параметров, характеризующих элементы станции и их функциональные связи в системе станционной автоматики.

Вершинам графа G поставлены в соответствие следующие структуры:

- вершинам S -типа:

$$v_j^s = \{N_s, e_1, e_2, e_3, e_4, I, s\}, v_j^s \in S, j = 1, 2 \dots n_s;$$

где N_s – идентификатор стрелочного перевода в МПР; e_1, e_2, e_3, e_4 – дуги, связанные с данной вершиной в МПР; I – номер ИС, в которую включен данный стрелочный перевод; s – положение стрелочного перевода ($s = 0$ – по прямому пути, $s = 1$ – по боковому пути); n_s – общее число стрелок на станции.

- вершинам C -типа:

$$v_i^c = \{N_C, e_n, I_n, \sigma_C\}, v_i^c \in C, i = 1, 2, \dots, n_c;$$

где N_C – идентификатор сигнала в МПР; e_n – дуга, началом которой является данная вершина в МПР; I_n – номер ИС, занятие которой инициирует перекрытие сигнала; σ_C – состояние сигнала ($\sigma_C = 0$ – открыт, $\sigma_C = 2$ – закрыт); n_c – общее число сигналов на станции.

Каждой дуге графа G в модели УППС поставлена в соответствие структура:

$$U_l = \{N_{пу}, q, I, \sigma_{ис}\}, l = 1, 2, \dots, r, \quad (1)$$

где $N_{пу}$ – номер путевого участка в МПР; q – номер дуги или вершины, инцидентной данной дуге; I – номер изолированной секции системы ЭЦ, в которую включен данный участок; $\sigma_{ис}$ – состояние соответствующей ИС ($\sigma_{ис} = 0$ – ИС свободна, $\sigma_{ис} = 1$ – замкнута в маршруте, $\sigma_{ис} = 2$ – занята подвижным составом); r – общее количество ИС на станции.

Для примера на рис. 2 приведен фрагмент схемы станции в модели УППС.

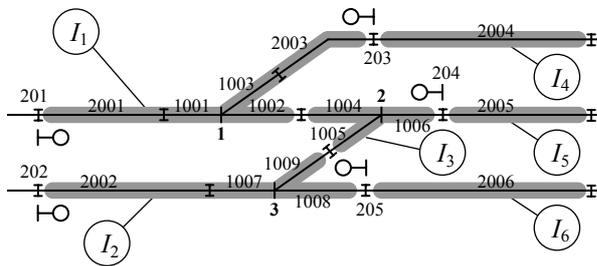


Рис. 2. Представление путевого развития станции в модели УППС

На каждом шаге системного времени УППС осуществляет контроль текущего состояния всех изолированных секций. При этом для каждой ИС проверяется занятость подвижным составом путевых участков в МЗП. Изолирован-

ная секция считается свободной, если все путевые участки, входящие в ее состав, не заняты подвижным составом. При изменении состояния секции (замыкание, занятие или освобождение) в информационную модель передается команда, в которой указывается номер ИС I и ее состояние $\sigma_{ис}$ (1).

Для моделирования перемещений поездов и маневровых составов по станции необходим полный список всех возможных маршрутов $M_i, i = 1, \dots, n$. Под маршрутом будем понимать список изолированных участков U (1), которые занимает объект при движении по станции. При этом начальными и конечными точками i -го маршрута должны быть вершины S -типа (сигналы) и соответствующие им изолированные участки U . В этой связи отдельный маршрут представляется структурой:

$$M_i = \{N_m, v_n, v_k, U, S\}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где N_m – идентификатор маршрута; v_n, v_k – соответственно начальный и конечный сигналы маршрута; U – список изолированных участков, занятых в маршруте; S – список номеров стрелочных переводов и их положений в маршруте.

Для построения указанного списка маршрутов используется МПР станции в виде ориентированного графа G . Очевидно, что направление начального v_n и конечного v_k сигналов не должны совпадать. В этой связи, при поиске маршрута M_i выполняется обход графа G в сторону, соответствующую направлению установки сигнала v_n пока не будет найден сигнал v_k с противоположным направлением действия. При этом в соответствующие списки данного маршрута M_i (2) заносятся номера изолированных участков, стрелочных переводов и их положений в маршруте. Поиск маршрутов осуществляется отдельно в каждой горловине парка станции.

В результате такого обхода графа G , для каждой вершины v_n формируется дерево маршрутов P , где каждому узлу дерева соответствует идентификатор определенного изолированного участка U_l (1). При этом один узел является корнем дерева, а остальные – разбиты на $m > 0$ поддеревьев P_1, P_2, \dots, P_m . Узлы, не имеющие поддеревьев (листья), являются конечными точками маршрута. Упорядоченное множество деревьев, построенных от всех начальных точек маршрутов в горловине, определим как лес. Лес маршрутов для горловины парка показан на рис. 2, представлен на рис. 3.

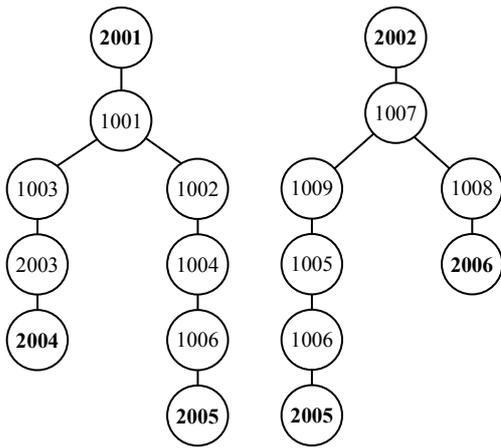


Рис. 3. Лес маршрутов горловины парка

При этом нужно отметить, что некоторые узлы, не имеющие поддеревьев (листья), могут иметь одинаковую нумерацию. Подобные случаи свидетельствуют о наличии в горловине вариантных маршрутов. Общее число листьев во всех деревьях соответствует числу возможных маршрутов n в горловине.

На основании сформированных деревьев P_m получают списки маршрутов, которые в дальнейшем классифицируются по категориям (маршруты приема, отправления с разбивкой по направлениям, а также маневровые с разделе-

нием по их специализации – заезд, надвиг, перестановка и др.). При этом маршруты каждой такой группы при необходимости сортируют в порядке предпочтения их направления, учитывая при этом варианты маршруты.

При эргатическом моделировании железнодорожных станций с целью его ускорения, основную часть моделирования технологического процесса выполняет ЭВМ. Однако, при возникновении конфликтных ситуаций, требующих принятия управленческих решений (выбор пути приема поезда, выбор очередности обслуживания составов, выбор локомотива и т. д.), эти действия возлагаются на ЛВМ. В этой связи ФМС должна в интерактивном режиме обеспечить ЛВМ возможность контроля текущей ситуации, принятия решений и передачи управляющих команд. С этой целью в состав ФМС введена информационная модель, которая используется ЛВМ для реализации указанных функций.

Информационная модель включает совокупность данных, необходимых ЛВМ для контроля и управления объектами в модели станции. В этой связи ИМ для МОПС парка приема (см. рис. 1) представлена в виде мнемосхемы парка и набора элементов визуального контроля и управления (рис. 4).

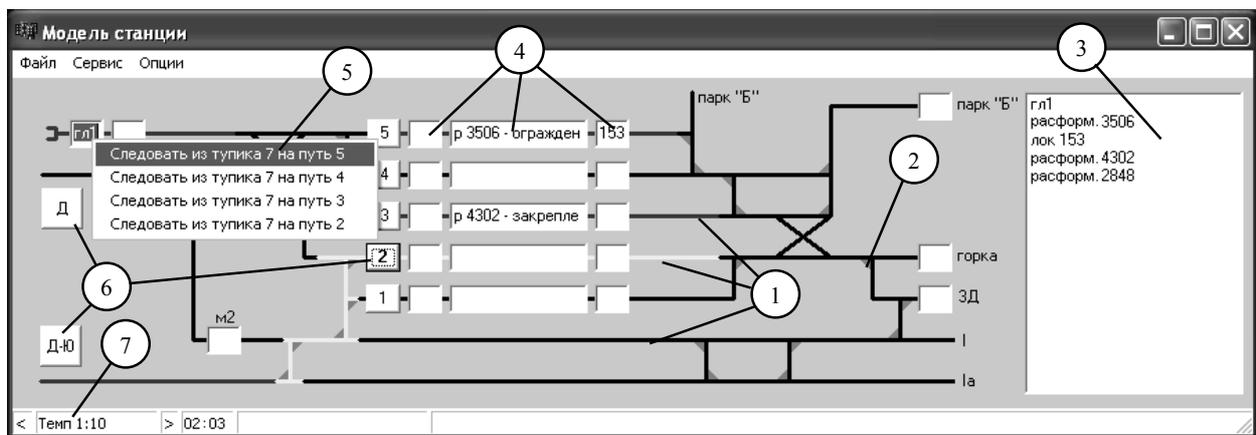


Рис. 4. Информационная модель станции

Схема парка представлена в виде отдельных участков пути (рис. 4, 1). С целью визуального контроля занятости изолированных стрелочных и путевых секций, линии могут изменять цвет: красный – секция занята подвижным составом, желтый – секция замкнута в маршруте, черный – секция свободна.

Для экономии экранного пространства общепринятая схема представления стрелочных переводов в ИМ заменена схемой, в которой стрелочный угол равен 90° . При этом на соответствующих визуальных элементах при по-

мощи меток (рис. 4, 2) указаны направления, по которым подвижной состав может перемещаться по стрелочным переводам с отклонением на боковой путь.

Для учета объектов подвижного состава (поездов, локомотивов, групп вагонов), находящихся в парке и на подходах к нему, в ИМ включен динамически изменяющийся список (рис. 4, 3), в котором отображаются тип и номера указанных объектов.

Для отображения состояния путевых участков, на которых могут находиться стоящие ло-

комotiveв или группы вагонов, в ИМ предусмотрены информационные поля, в которых указываются номера локомотивов или идентификаторы группы вагонов (рис. 4, 4).

Управление локомотивами осуществляется при помощи контекстных меню команд (рис. 4, 5). В этих меню приводится список команд, которые может выполнить локомотив в текущий момент времени. Контекстные меню активизируются при выборе указанных выше полей только в тех случаях, когда локомотивы находятся на соответствующих путевых участках в ожидании выполнения определенных действий.

Для приготовления маршрутов перемещения объектов по станции в ИМ предусмотрены кнопки (рис. 4, 6), при нажатии которых в модель УППС посылаются команды, инициирующие проверку и реализацию заданного маршрута. При этом воздействие на моторные элементы ИМ осуществляется с помощью манипулятора «мышь».

Во время работы с МОПС можно изменять темп моделирования. Для этого в ИМ предусмотрена панель управления скоростью изменения системного времени (рис. 4, 7), с помощью которой ее можно варьировать в широких пределах. ФМС автоматически переходит в режим реального времени в случае возникновения конфликтной ситуации, для разрешения которой необходима команда ЛВМ. После принятия решения и ввода команды ЛВМ может вновь увеличить темп моделирования до необходимой величины. Такая организация работы модели позволяет значительно ускорить процесс моделирования и в то же время обеспечивает ЛВМ необходимым запасом времени для принятия решений.

Для идентификации разработанной имитационной модели были выполнены статистические исследования параметров потока поездов, поступающих в парк приема рассматриваемой сортировочной станции. Определены численные характеристики распределений случайных величин интервала прибытия поездов, а также продолжительности выполнения отдельных операций технологического процесса их обслуживания. Для некоторых операций с использованием методов регрессионного анализа было установлено наличие функциональной зависимости их продолжительности от величины состава и числа отцепов в составе.

Оценка адекватности разработанной модели была выполнена с использованием параметрического критерия Уилкоксона. С этой целью были исследованы выборки случайных величин

времени нахождения расформируемых составов в парке приема, полученных на реальной станции $x = (x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$ и в результате моделирования $y = (y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$. По данным выборок определены статистические оценки математических ожиданий \bar{x} и \bar{y} и средних квадратических отклонений s_x и s_y ; при этом было установлено, что случайные величины X и Y распределены по логарифмически-нормальному закону.

В результате статистического анализа была подтверждена гипотеза о принадлежности выборок x и y к одной генеральной совокупности. На основании этого был сделан вывод о том, что модель парка приема адекватна реальной станции.

Для получения необходимых технико-эксплуатационных показателей проектируемой или реконструируемой станции в модели фиксируются моменты начала и окончания каждой технологической операции с каждым объектом (поездом, локомотивом, составом). Эти данные используются для определения общего времени нахождения объектов в системе, а также простоев в ожидании их обслуживания и задержек отдельных передвижений подвижного состава.

В процессе моделирования фиксируется продолжительность занятия путевых и стрелочных секций, а также всех обслуживающих устройств (маневровых локомотивов, горки, бригад ПТКО, операторов станционного технологического центра и др.). Указанные данные используются для расчета загрузки элементов станции и последующего анализа соответствия ее конструкции и технологии работы заданным размерам движения, характеру и объемам переработки.

Указанные данные позволяют получить количественные значения параметров, характеризующих различные варианты технико-технологических решений. Каждый вариант можно охарактеризовать двумя интегральными показателями: количественным (например, затраты на реализацию варианта) и качественным (например, простой вагонов на станции, перерабатывающая способность). В большинстве случаев на реализацию комплекса мероприятий, направленных на совершенствование конструкции или технологии работы станции, выделяется определенный лимит ресурсов (денежных, материальных, трудовых и т.д.). При этом возникает проблема выбора варианта, на который следует направить выделенные средства для получения максимального эффекта. Для решения указанной задачи может быть ис-

пользована методика, основанная на принципах векторной оптимизации [7].

При формализации задачи станция рассматривается как сложная система, состоящая из множества элементов, к которым можно отнести путевое развитие, систему обслуживания, систему управления и др. Комплекс мероприятий γ_i , направленных на повышение эффективности функционирования станции, в общем случае предусматривает проведение работ на каждом таком элементе:

$$\gamma_i = \{W_1, W_2, \dots, W_j, \dots, W_n\}, \quad (3)$$

где W_j – множество возможных мероприятий на j -м элементе станции (реконструкция горловин, изменение числа путей, количества исполнительных технологических операций и др.).

На реализацию каждого варианта (комплекса мероприятий) требуются определенные затраты средств $Z(\gamma_i)$; с другой стороны, реализация варианта γ_i позволит получить определенное значение качественного показателя $\Psi(\gamma_i)$. Конкретные значения указанных показателей могут быть получены по результатам моделирования работы станции с помощью ее эргатической модели.

Набор возможных вариантов составляет множество $|\Gamma| = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k\}$. Решением задачи является такое подмножество $|\Gamma^*| = \{\gamma_1^*, \gamma_2^*, \dots, \gamma_m^*\}$, для каждого из элементов которого выполняется условие:

$$\begin{pmatrix} Z(\gamma^*) \\ \Psi(\gamma^*) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (4)$$

Указанная задача в изложенной постановке является задачей векторной оптимизации и может быть решена с помощью метода неопределенных множителей Лагранжа [7]. Результатом решения является подмножество точек, каждая из которых при заданной величине затрат $Z(\gamma^*)$ определяет наиболее рациональный комплекс мероприятий γ^* . При этом полученное подмножество точек $|\Gamma^*|$ включает лишь так называемые эффективные решения, каждое из которых предусматривает улучшение значения качественного показателя при увеличении затрат.

Апробация разработанной методики была выполнена при исследовании и оптимизации технического оснащения и технологии работы парка приема, приведенного на рис. 1. Анализ конструкции путевого развития этого ПП и технологии его работы позволил выявить определенные недостатки. Так, входная горловина предусматривает возможность приема поездов

из Д-Ю только на два пути, что вызывает задержки поездов при увеличении поездопотока с этого направления. Кроме того, в условиях постепенного увеличения объемов перевозок возникла необходимость в восстановлении пути № 5, который ранее был закрыт и разобран. Технический осмотр составов в ПП выполняет одна бригада ПТО, включающая 2 группы осмотриков вагонов, а расформирование на горке выполняет один горочный локомотив. Как показал анализ, входной поездопоток станции характеризуется существенной неравномерностью, которая при таком оснащении может вызывать значительную загрузку технических средств ПП в период сгущенного прибытия поездов. Это, в свою очередь, приводит к снижению перерабатывающей способности станции в целом.

В этой связи была поставлена задача исследования и выбора рациональных технико-технологических параметров ПП для повышения эффективности его функционирования. С этой целью был рассмотрен ряд возможных реконструкционных и организационных мероприятий W_j (3):

- 1) изменение числа путей в ПП $W_1 = \{4; 5\}$;
- 2) выбор конструкции входной горловины для приема поездов из Д-Ю $W_2 = \{0; 1\}$; здесь вариант $W_2 = 0$ соответствует существующей горловине, $W_2 = 1$ – предусматривает ее реконструкцию для обеспечения приема поездов из Д-Ю на все пути ПП;
- 3) выбор количества горочных локомотивов $W_3 = \{1; 2\}$;
- 4) выбор количества бригад ПТО: $W_4 = \{1; 2\}$;
- 5) выбор числа групп осмотриков вагонов в каждой бригаде $W_5 = \{2; 3; 4\}$.

Таким образом, было получено 48 множеств γ_i , каждое из которых представляет собой комбинацию указанных выше мероприятий W_j .

По каждому варианту γ_i определялось два показателя: $Z(\gamma_i)$ – годовые приведенные затраты P_i на реализацию данного комплекса мероприятий, тыс. грн/год; $\Psi(\gamma_i)$ – максимальная перерабатывающая способность парка приема N_i , которая может быть достигнута при реализации варианта γ_i , вагонов/сутки.

При этом задача (4) представляется в виде:

$$\begin{pmatrix} P(\gamma^*) \\ -N(\gamma^*) \end{pmatrix} \rightarrow \min.$$

Для получения технико-эксплуатационных показателей, которые характеризуют функционирование ПП по каждому из намеченных вариантов, было выполнено моделирование рабо-

ты ПП с использованием эргатической модели. Для каждого варианта при одинаковых начальных условиях была выполнена серия вычислительных экспериментов, по результатам которых были определены средние значения показателей функционирования ПП, в т.ч.: средний простой составов в ПП, средний простой поездов на соседних станциях, число расформированных поездов, нагрузка исполнителей технологических операций и др.

Для определения значения N_i эксперименты с моделью по каждому варианту γ_i выполнялись при различной интенсивности λ входящего поездопотока. При этом максимально возможное значение перерабатывающей способности N_i определялось по эксперименту с пороговым значением λ^* , при котором был достигнут кри-

тический уровень насыщения системы обслуживания ПП, Пороговое значение интенсивности λ^* фиксировалось, когда при его дальнейшем увеличении суточное число обслуженных поездов в парке не изменялось.

С учетом полученных значений показателей по каждому варианту комплекса планируемых мероприятий γ_i были рассчитаны годовые приведенные затраты на его реализацию Π_i . Таким образом, было получено множество $|\Gamma| = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{48}\}$, которое приведено в табл. 1, а также представлено на рис. 5 в виде поля точек.

На основе решения задачи векторной оптимизации из множества $|\Gamma|$ было выделено подмножество $|\Gamma^*|$, которое включает лишь эффективные варианты и является решением поставленной задачи.

Таблица 1

Результаты моделирования работы парка приема сортировочной станции

№ п/п	Множество γ_i					Показатели		№ п/п	Множество γ_i					Показатели	
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	Π_i	N_i		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	Π_i	N_i
1	4	0	1	1	2	2671,2	1540	25	4	1	1	1	2	2973,7	1540
2	4	0	1	1	3	3204,0	1980	26	4	1	1	1	3	3510,1	1980
3	4	0	1	1	4	3490,0	2200	27	4	1	1	1	4	3790,3	2200
4	4	0	1	2	2	3425,8	2200	28	4	1	1	2	2	3703,5	2200
5	4	0	1	2	3	3749,0	2420	29	4	1	1	2	3	3979,0	2420
6	4	0	1	2	4	4016,4	2530	30	4	1	1	2	4	4281,6	2530
7	4	0	2	1	2	3199,0	1705	31	4	1	2	1	2	3494,9	1705
8	4	0	2	1	3	3705,7	2145	32	4	1	2	1	3	4023,0	2145
9	4	0	2	1	4	4002,9	2420	33	4	1	2	1	4	4281,9	2420
10	4	0	2	2	2	4000,2	2475	34	4	1	2	2	2	4231,6	2475
11	4	0	2	2	3	4337,2	2805	35	4	1	2	2	3	4582,1	2805
12	4	0	2	2	4	4625,5	3135	36	4	1	2	2	4	4832,0	3135
13	5	0	1	1	2	2996,1	1650	37	5	1	1	1	2	3222,6	1595
14	5	0	1	1	3	3434,4	2035	38	5	1	1	1	3	3727,5	2035
15	5	0	1	1	4	3643,5	2200	39	5	1	1	1	4	3932,9	2200
16	5	0	1	2	2	3623,3	2255	40	5	1	1	2	2	3908,0	2255
17	5	0	1	2	3	3950,7	2475	41	5	1	1	2	3	4225,5	2475
18	5	0	1	2	4	4230,7	2585	42	5	1	1	2	4	4513,8	2585
19	5	0	2	1	2	3346,6	1705	43	5	1	2	1	2	3654,2	1705
20	5	0	2	1	3	3934,3	2200	44	5	1	2	1	3	4191,6	2200
21	5	0	2	1	4	4188,6	2475	45	5	1	2	1	4	4492,6	2475
22	5	0	2	2	2	4203,6	2585	46	5	1	2	2	2	4513,3	2585
23	5	0	2	2	3	4523,0	2860	47	5	1	2	2	3	4841,9	2860
24	5	0	2	2	4	4756,6	3190	48	5	1	2	2	4	5090,6	3245

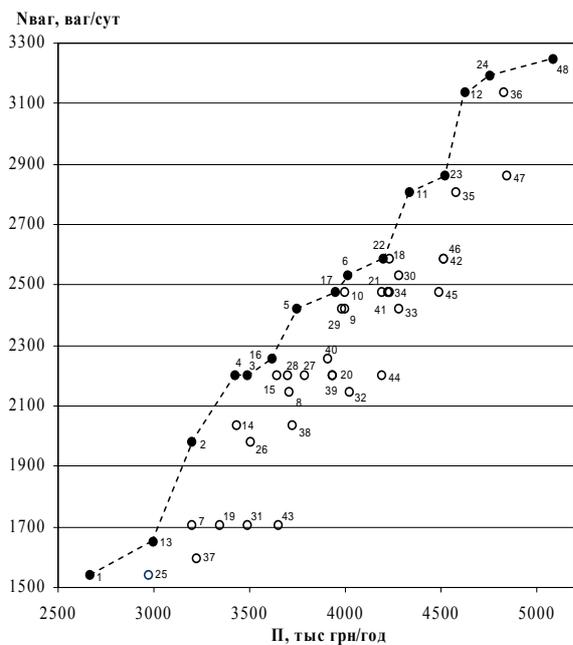


Рис. 5. Поле точек множества $|\Gamma|$

Элементы подмножества $|\Gamma^*|$ выделены в табл. 1. На рис. 5 также выделены точки, соответствующие эффективным вариантам организационно-технических мероприятий, которые могут быть реализованы на станции. Полученное решение позволяет осуществлять выбор рационального комплекса мероприятий, обеспечивающих максимальную эффективность работы парка приема, в зависимости от объемов финансирования проекта. Так, при допустимых годовых приведенных расходах P_i 3 млн. грн. эффективным является вариант №13, который предполагает сооружение в ПП дополнительного 5-го пути; при этом сохраняется существующая конструкция входной горловины и техническое оснащение ПП (1 маневровый локомотив, 1 бригада ПТО из 2-х групп осмотрщиков вагонов. Реализация данного варианта обеспечивает перерабатывающую способность парка 1650 вагонов/сутки. Для сравнения вариант №25 при таких же расходах позволяет переработать только 1540 вагонов.

Подобное решение может быть получено для всех технических станций участка железной дороги. Это позволит руководству дороги определить наиболее эффективный вариант

распределения ресурсов при модернизации станций участка, позволяющий обеспечить максимальную (заданную) пропускную способность станций и всего участка при минимуме затрат. Разработанная методика, модели и соответствующее программное обеспечение могут быть положены в основу современной системы поддержки принятия решений для руководства железных дорог. Такая система позволит осуществлять эффективное технико-экономическое управление инфраструктурой железнодорожного транспорта Украины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кокурин И. М. Методика количественной оценки деятельности человека-оператора железнодорожных автоматизированных систем управления // Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 404. – Л.: ЛИИЖТ, 1977. – С. 73–83.
2. Сапунов Н.А. Об оценке количества информации в системе управления сортировочной станцией // Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 364. – Л.: ЛИИЖТ, 1973. – С. 80–91.
3. Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В. Эргатические модели железнодорожных станций. // 36. науч. праць КУЕТТ: Серія «Транспортні системи і технології», Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004. – С. 80–86.
4. Бобровский В.И. Эргатические модели сортировочных горок // Информационно – управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2001. – № 5. – С. 7–11.
5. Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В. Техничко-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей. // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 6. – С. 17–21.
6. Бобровский В.И., Вернигора Р. В. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно-диспетчерского персонала // Мат. моделювання. – 2000. – №2(5). – С. 68 – 71.
7. Босов А. А., Мухіна Н. А., Піх Б. П. Підвищення ефективності роботи транспортної системи на основі структурного аналізу. – Д.: ДНУЗТ, 2005. – 200 с.

Поступила в редколлегию 25.06.2007.