

В.В. Скалозуб, И.В. Жуковицкий, И.В. Клименко, А.П. Заец
СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
В ЕДИНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ
УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ
ПЕРЕВОЗКАМИ УКРАИНЫ

Аннотация. В работе рассматриваются методы оперативного прогнозирования недетерминированных и антиперсистентных технологических процессов железнодорожного транспорта на основе применения новых статистических методов анализа временных рядов, которые собираются системой АСУ ГП УЗЕ.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, железнодорожные перевозки, временные ряды, прогноз, статистический анализ, показатель Херста.

Введение и анализ существующих решений

В настоящее время выполняется интеграция информационных ресурсов автоматизированных систем украинских железных дорог (УЗ) в рамках единой автоматизированной системы управления грузовыми перевозками АСУ ГП УЗЕ. При переходе к АСУ ГП УЗЕ отметим важность развития интеллектуальных технологий применительно к новым задачам повышения технологической, экономической и информационной эффективности АСУ. Открытая архитектура АСУ ГП УЗЕ позволяет выполнить автоматизацию различных аспектов управления грузовыми перевозками [1]. Вместе с этим в АСУ грузовыми перевозками практически нет унифицированных подсистем, которые обеспечивают процессы поддержки принятия управленческих решений (ППР) персонала с использованием современных интеллектуальных методов выявления и исследования закономерностей в накопленных данных.

В связи с тем, что подсистемы ППР имеют ряд общих задач и функций, которые в рамках АСК ВП УЗЕ должны опираться на общую информационную базу и общие методы реализации, целесооб-

разно унифицировать процедуры создания и подготовить методики их эффективной реализации. Для подобных подсистем управления предложено использовать термин «Аналитические серверы» – АС [2]. Системы АС предназначены для унификации разработки процедур ППР, чтобы на основе информационного фундамента АСУ ГП УЗЕ обеспечить информационно-аналитическую поддержку управленческих решений руководящего, инженерно-технического и диспетчерского персонала.

Ориентация на эффективность поддержки конкретных управленческих функций определяет необходимость создания комплекса или семейства АС, которые должны специализироваться на разных типах задач управления грузовыми перевозками: управление вагонными парками (АС УВП), управление локомотивными парками (АС УЛП) и тому подобное.

Вместе с тем, в соответствии с современными подходами к созданию информационных систем, является целесообразным использование общей платформы, в рамках которой решаются вопросы стандартизации и общесистемного обеспечения АС.

На рис. 1 [2] приведенная возможная схема функционирования аналитических серверов в составе АСУ ГП УЗЕ. Выделяются три уровня, на которых происходит функционирование АС: аппаратно-программные средства (АПС) ядра АСУ ГП УЗЕ, собственные АПС аналитических серверов, АПС клиентов АС.

АПС ядра АСУ ГП УЗЕ в первую очередь обеспечивают ведение базы данных, которой пользуются задачи АС. Здесь также могут функционировать некоторые программы обработки данных (например, программы для формирования «базы знаний»). Важно подчеркнуть, что в соответствии с архитектурой АСУ ГП УЗЕ аналитические серверы, как правило, должны функционировать в рамках конкретных узлов системы.

При выборе аппаратно-программных решений по созданию АС целесообразно отдавать приоритет современным веб-технологиям. В настоящее время в рамках таких технологий создан ряд стандартных решений, которые обеспечивают эффективные коммуникации при наличии информационной безопасности и достаточно развитого тексто-во-графического интерфейса пользователей.

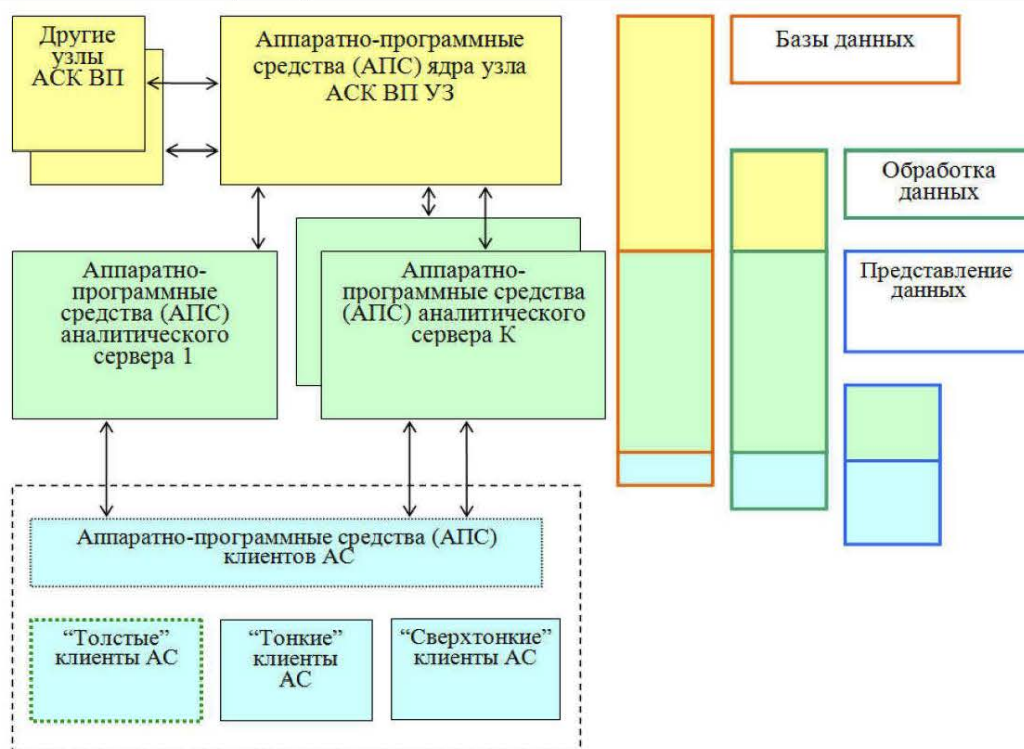


Рисунок 1 - Схема взаимодействия АС с клиентами и ядром АСК ВП УЗ

Функции, которые возлагаются на АПС клиентов (клиентские компьютеры), могут быть достаточно разными в соответствии с задачами конкретных рабочих мест. В соответствии с технической политикой развития системы АСК ВП УЗ, преимущество отдается так называемым «тонким клиентам» – решениям, которые минимизируют требования к сопровождению клиентских АПС за счет выполнения большинства функций системе в ее серверной части. Вариантом такого решения при использовании веб-технологий является «сверхтонкий клиент», где на ПК пользователя может использоваться лишь стандартная программа-браузер.

Цель работы

Целью данной работы является разработка методов оперативного прогнозирования недетерминированных и антиперсистентных технологико-экономических процессов железнодорожного транспорта на основе применения новых статистических методов анализа временных рядов, которые собираются системой АСУ ГП УЗЕ. Представленные методы могут быть использованы в аналитических серверах АСУ ГП УЗЕ для поддержки принятия управленческих решений.

**Анализ временных рядов технологико-экономических процессов
железнодорожного транспорта**

Данные о процессах перевозок, накапливающиеся в АСУ ГП УЗЕ, являются временными рядами (ВР), упорядоченными по этапам изменения некоторых из заданных показателей. Эти показатели имеют сложную динамическую структуру и отражают свойства технологических, финансовых и многих других процессов железнодорожного транспорта.

В этой связи отметим возможности применения новых статистических методов анализа таких рядов, в нашем примере – параметров вагонопотоков. Среди этих методов выделим показатель Херста [3], оценивающий стохастичность ряда и наличие в нем долговременной «памяти», а также метод Т. Демарка [4], используемый для прогнозирования биржевых процессов. Отметим исследования вопросов по адаптации этих методов с учетом свойств временных рядов, характерных для железнодорожного транспорта [5...8].

Представим один из результатов анализа временных рядов на основе показателя Херста [3]:

$$H = \frac{\log(R / S)}{\log(a * N)}, \quad (1)$$

где H – показатель Херста; S – среднее квадратическое отклонение ВР; R – размах накапливаемых отклонений; N – число периодов наблюдений; a – заданная константа.

Значение показателя Херста позволяет установить категорию, классифицировать процессы ВР как персистентные (трендостойкие), антиперсистентные (излом тенденции, возврат), выявить случайный характер процесса. Установлено [7], что для «коротких» ВР (соответствуют реальным процессам реализации железнодорожных перевозок) лучше использовать величину константы $a=\pi/2$. Такое значение параметра позволяет с большей достоверностью оценивать свойства ВР и определять, когда ВР имеет «память» ($H > 0,5$).

Решается задача определения основных характеристик временных рядов, представленных на рис. 2 (наличие свойства случайности ряда показателей или же присутствие в нем «долговременной памяти» – категории персистентность, антиперсистентность; расчет средней длины скрытого цикла; устойчивость основной тенденции ряда – тренда). Рассчитывались согласно (1) значения показателей Херста

для рядов А и В. При этом было установлено, что коэффициент Херста H для ряда А имеет значение в диапазоне от 0,343 до 0,389, т.е. $H < 0,5$ (ряд является антиперсистентным, ожидается изменение тенденции); для ряда В значение H от 0,664 до 0,715, т.е. $H > 0,5$ (ряд персистентный, тенденция сохраняется).

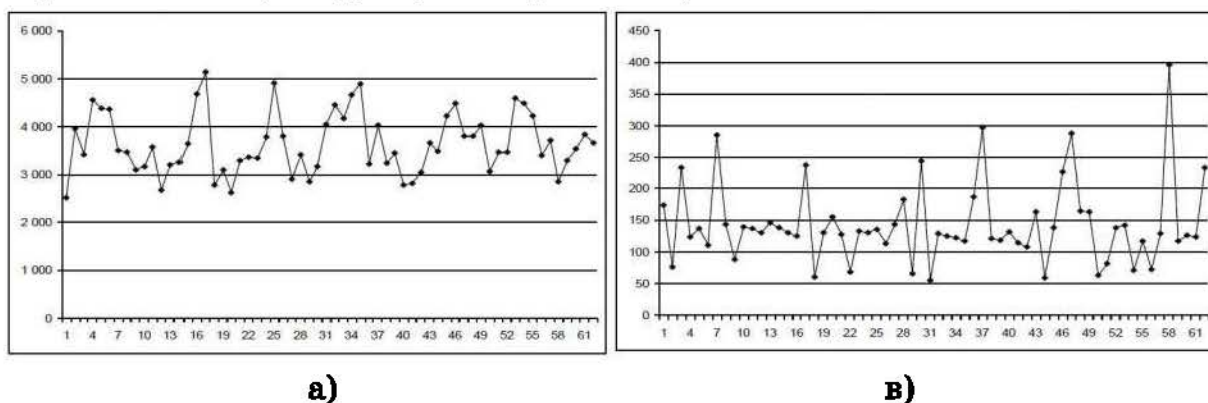


Рисунок 2 - Графики суточной передачи вагонов между железнодорожными полигонами

При регрессионном анализе поведения рядов получены следующие уравнения: для ряда А

$$Y = 3565 + 2,422 * X; \quad (2)$$

для ряда В

$$Y = 171,6 + 1,794 * X. \quad (3)$$

Обе функции, построенные для рядов А и В, соответствуют условиям адекватности, свидетельствуют об ожидаемом росте прогнозируемых параметров в будущих периодах. Вместе с тем это противоречит результатам анализа Херста для ряда А, которые указывают на ожидаемую смену тенденции временного ряда – то есть на возможное уменьшение показателя в будущем. Таким образом, необходимо унифицировать и совершенствовать методики прогнозирования и планирования показателей технологических и соответствующих экономических процессов на железнодорожном транспорте.

На рис. 3 приведен еще один пример использования методов и средств, предусмотренных в АС, для решения задач прогнозирования параметров вагонопотоков, используя данные АСУ ГП УЗЕ.

«Коридор» ожидаемых значений показателей вагонопотоков, исходные значения которых указаны пунктиром, построен по методу Т. Демарка, а показанные внутри него значения (линия с треугольниками) уточняют интервальный прогноз, используя модифициро-

ванный метод, ориентированный на ряды показателей железнодорожного транспорта.



Рисунок 3 - Оперативный прогноз параметров вагонопотока на основе модифицированного метода Т. Демарка

Для величин прогнозов, которые представлены на рис. 3, относительная ошибка составила $e(\tilde{Y}) = 8,77\%$, где погрешность вычисляется согласно

$$e(\tilde{Y}) = \frac{\sum_{i=1, \dots, n} \left(\frac{Y_i - \tilde{Y}_i}{Y_i} \right)}{n} * 100\%. \quad (4)$$

С помощью модифицированного метода Т. Демарка можно прогнозировать и другие показатели вагонопотоков. На рис. 4 представлен временной ряд простоя вагонов на некоторой станции, измеренный в денежном выражении.



Рисунок 4 - Денежная оценка простоя вагонов на станции

В результате анализа установлено, что параметры рассматриваемых вагонопотоков (рис. 2...4), являются нестационарными временными рядами, которые не имеют четко выраженного тренда. Также в них присутствует сезонная, а в некоторых случаях и циклическая компонента. Для составления оперативного прогноза можно использовать модифицированный метод Т. Демарка, который в комбинации с методом размножения выборок с заданными свойствами (методом «бутстреп») [6], позволяет построить прогноз и оценить его точность. Последнее свойство отсутствует в методе Т. Демарка, где оценивается только ожидаемый диапазон возможного будущего значения исследуемого показателя.

Оперативное прогнозирование недетерминированных и антиперсистентных технолого-экономических процессов железнодорожного транспорта на основе агрегирования временных рядов

Авторами были произведены расчеты свойства персистентности (антиперсистентности) для ряда ВР технолого-экономических процессов железнодорожного транспорта, в частности, параметров вагонопотоков по станциям, характеризующих количество отправленных за сутки вагонов (ВР-В). Расчеты показали, что даже при наличии достаточного количества статистических данных, применения стандартных статистических методов анализа ВР-В не дает возможности построить достоверный оперативный план. При более детальном анализе подобных ВР-В было выяснено, что их показатель Херста находится в интервале $[0,3; 0,5]$, что свидетельствует об отсутствии «памяти» в ВР. Отсутствие «памяти» означает, что сведения о предыдущих свойствах и поведении ВР не сохраняются. Это указывает на невозможность прогнозирования и планирования приведенных процессов.

Для анализа и дальнейшего исследования технолого-экономических процессов, описывающих ВР, для которых показатель Херста (далее H) находится в области так называемого «белого шума» ($H = [0,4, 0,5]$), предложено использовать процедуру агрегирования уровней ВР (объединение, укрупнение показателей процессов по определенным признакам [2, 3]).

Далее предлагается процедура ПКР (построения классификации ВР) путем их преобразования, обобщения и выравнивания расположенных рядом уровней. При этом на основе исходного ВР формируется серия новых ВР: $BP_i(k)$, $k = 2, 3, \dots$. В серии $BP_i(k)$ параметр

k указывает количество последовательно расположенных уровней ряда, которые используются для построения очередного уровня преобразованного ряда (как среднего значения уровней k) на i -м этапе процедуры ПКР по образованию и исследованию преобразованных $BP_i(k)$ на основе модели (1). На следующем $(i+1)$ и последующих этапах процедура ПКР применяется к новым, образованным на предыдущих этапах $BP_i(k)$. Построение серий $BP_i(k)$ прекращается, если для некоторого значения k соответствующий $BP_i(k)$ станет персистентным соответственно (1). В качестве другого условия окончания процедуры ПКР, служит выполнение на i -м этапе требования: $H(BP_i(k)) > H^*$, где H^* - заданная величина. При выполнении условия остановки серии расчетов $BP_i(k)$ для нескольких обобщенных уровней k , будем считать, что BP относится к классу с меньшим k . Далее к полученным на k -м этапе модифицированным рядам применяют методы корреляционно-регрессионного анализа [6,8], строят регрессионные модели образованного BP и т.д. Степенью достоверности построенных моделей является коэффициент детерминации (R^2).

На рис. 5, рис. 6 представлены агрегированные ряды процессов BP , построенные для двух и трех уровней параметров (показателей отправления вагонов).



Рисунок 5 - Параметры вагонопотока с агрегированием за 2 суток,
 $H=0.18$

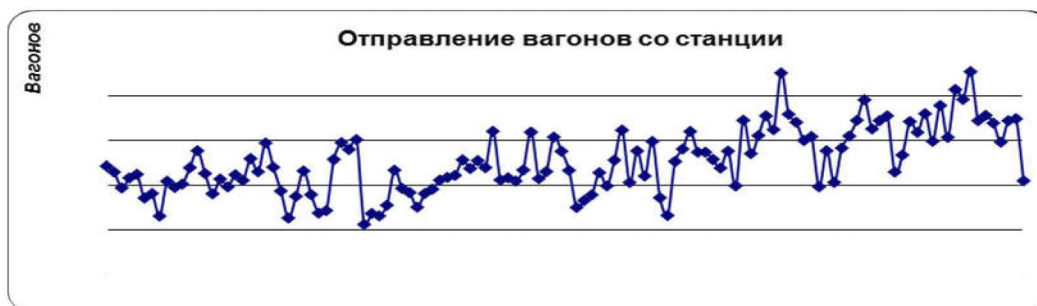


Рисунок 6 - Параметры вагонопотока с агрегированием за 3 суток,
 $H=0.71$

При этом показатели Херста (H) соответственно равны 0,18 и 0,71. То есть становится практически возможным прогнозировать показатели и выполнять планирование (объемов, затрат др.) только «с шагом 3».

Анализ показал, что в случае возникновения ВР, сходных с рис. 5, рис. 6, процедура агрегирования уровней позволяет дифференцировать процессы с разными периодами обобщения, при которых становится возможным выполнять прогнозирование, то есть получить и использовать значения прогнозируемых параметров именно для таких обобщенных ВР и определенных ими периодов.

Выводы

Приведенный анализ и результаты исследования состояния и перспектив развития и долгосрочного применения системы АСВ ВП УЗЕ свидетельствуют об актуальной потребности внедрения в системе унифицированных интеллектуальных средств поддержки процессов принятия решений. Для реализации такого проекта предлагается создание дополнительного комплекса АСУ ГП УЗЕ в виде аналитических серверов. Одним из механизмов, который может эффективно использоваться в аналитических серверах может быть разработанная процедура анализа агрегированных временных рядов, которая обеспечивает возможности обоснованной интерпретации их дополнительных свойств и получения достоверных оценок для прогнозирования и планирования исследуемых процессов. Результаты разработок обеспечивают возможность автоматизации и повышения эффективности процессов технологического-экономического управления сложными системами в условиях недетерминированных параметров железнодорожных процессов и систем. Представленные результаты исследований направлены на создание элементов интеллектуальных автоматизированных систем, аналитических серверов, обеспечивающих управление недетерминированными и антиперсистентными технологическими процессами железнодорожного транспорта на основе данных представленных временными рядами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великодный В.В. Компонентно-ориентированное программирование в разработках интегрированной среды автоматизированной системы управления железнодорожного транспорта Украины / В.В. Великодный, И.В. Жуковичкий, В.В. Скалозуб и др. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2005. – № 5. – С.63-68.

2. Жуковицький І.В. Принципи побудови системи підтримки прийняття рішень і управління вантажними перевезеннями на основі аналітичних серверів АСК ВП УЗ / І.В. Жуковицький, В.В. Скалозуб, А.Б. Устенко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 17. – С.28-34

3. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике. - М.: Интернет-трейдинг, 2004. - 304 с.

4. Демарк Т. Технический анализ – новая наука. – 286 с. // www.xeurg.ru

5. Клименко И.В. К вопросу автоматизации анализа и оперативного прогнозирования параметров грузовых железнодорожных перевозок / И.В. Клименко // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте – ЭКУЖТ 2010: Тез. Докл. Международн. научн. конф. – Д.: ДНУЖТ, 2010. – С. 170 – 171.

6. Нечай В.Я. О применении методов хаотической динамики для исследования свойств вагонопотоков / В.Я. Нечай, А.В. Нечай // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте – ЭКУЖТ 2010: Тез. Докл. Международн. научн. конф. – Д.:ДНУЖТ, 2010. – С. 177 – 178.

7. Скалозуб В.В. Оценка и прогнозирование параметров временных рядов вагонопотоков на основе специализированной процедуры фрактального анализа / В.В. Скалозуб, И.В. Клименко // Наук. Вісник Херсонського держ. ун-ту, серія Економічні науки. Вип. 20. Частина 2. - Херсон, 2016. - С. 189 – 192.

8. Скалозуб В.В. Розвиток процедур аналізу та прогнозування недетермінованих технологічно-економічних процесів на основі показників хаотичної динаміки / В.В. Скалозуб, И.В. Клименко // Економіка: реалії часу. № 4 (26), 2016. – С. 82 – 90.