

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.212:629.4.048

Д. Н. КОЗАЧЕНКО<sup>1\*</sup>, Ю. Н. ГЕРМАНЮК<sup>2\*</sup>, Э. К. МАНАФОВ<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта kozachenko@upr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

<sup>2\*</sup>Каф. «Транспортные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Львовский филиал, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, 79052, Украина, тел. +30 (032) 267 99 74, эл. почта yuhermanyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4905-8313

<sup>3\*</sup>Каф. «Эксплуатация железнодорожного транспорта», Азербайджанский технический университет, пр. Г. Джавида, 25, Баку, Азербайджан, AZ 1073, тел. +994 (55) 741 79 39, эл. почта elshan\_manafov@mail.ru, ORCID 0000-0001-5697-577X

### ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВании СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

**Цель.** В данной статье авторы предполагают разработать статистические методы контроля технологических процессов работы железнодорожных станций на основании контрольных карт Шухарта. **Методика.** Исследования в статье выполнены на основании методов статистического контроля качества и теории эксплуатации железных дорог. **Результаты.** Существующие методы контроля выполнения технологических процессов железнодорожных станций ориентированы на достижение количественных показателей их работы при безусловном выполнении необходимого перечня технологических операций и соблюдения требований безопасности движения поездов. В то же время проблема контроля соблюдения качественных показателей работы станций требует дополнительных исследований. Основным критерием для оценки качества выполнения технологических процессов, связанных с обработкой поездов, локомотивов, вагонов, контейнеров, грузов, документов и информации на железнодорожных станциях является их продолжительность. Учитывая то, что затраты времени на обработку указанных объектов являются случайными величинами, для контроля и управления технологическими процессами станций предложено использовать статистические методы, в частности карты Шухарта. В качестве примера в статье рассмотрены процессы технического обслуживания вагонов грузовых поездов по отправлению и построены карты Шухарта для станций Клепаров и Баладжары. Анализ работы обеих станций показал наличие существенного влияния местных условий на продолжительность технического обслуживания составов поездов по отправлению, а также значительные отклонения между его нормативной и фактической продолжительностью. **Научная новизна.** В данной работе впервые предложен метод управления технологическими процессами железнодорожных станций, основанный на использовании контрольных карт Шухарта. **Практическая значимость.** Применение предложенного метода позволяет, с одной стороны, адекватно выполнять контроль продолжительности технологических процессов и отдельных технологических операций, представляющих собой, как правило, случайные величины, а с другой – оценивать возможность реализации установленных технологическими процессами норм. Кроме того, организация накопления статистической информации о ходе выполнения технологических процессов также позволит существенно упростить построение адекватных имитационных моделей, учитывающих стохастичный характер функционирования железнодорожных станций.

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт; железнодорожная станция; технологический процесс; статистический контроль качества; карты Шухарта

### Введение

Железнодорожный транспорт является одним из основных видов наземного транспорта. Его отличительные характеристики – высокая провозная способность, низкие удельные расходы энергии на перемещение пассажиров и грузов, а также высокая безопасность перевозок. При этом одним из основных методов обеспечения установленных сроков доставки, экономичности и безопасности перевозок на железнодорожном транспорте является предварительная разработка прогрессивных технологических процессов линейных подразделений, в частности железнодорожных станций. Нарушение технологических процессов железнодорожных станций может повлечь за собой экономический ущерб, а в отдельных случаях ущерб окружающей среде, здоровью и жизни людей [4]. В этой связи проблема совершенствования методов управления технологическими процессами железнодорожных станций является актуальной.

Нужно отметить, что само понятие технологического процесса железнодорожной станции требует уточнения. Так, в [13] технологический процесс определен как нормативный документ, в котором изложена система организации работы станции, основанная на применении передовых методов труда, последовательности и норм времени на выполнение технологических операций по приёму, отправлению и обработке поездов и вагонов всех категорий при безусловном обеспечении безопасности движения, сохранности перевозимых грузов, соблюдении требований охраны труда и окружающей природной среды. В [12] определение технологического процесса работы станции отсутствует, но указано, что технологические процессы должны регламентировать все выполняемые конкретной станцией технологические операции независимо от их частоты и объёмов. Таким образом, на железнодорожном транспорте сложилась ситуация, когда в качестве технологического процесса рассматривают нормативный документ, в котором этот процесс должен быть представлен без раскрытия его сути. В соответствии с таким определением понятия «технологический процесс станции» на железнодорожном транспорте сформировалось поня-

тие управления и контроля технологических процессов их работы.

В [13] задача контроля выполнения технологических процессов железнодорожных станций сводится к контролю выполнения плановых показателей эксплуатационной работы, а также к контролю за соблюдением установленного технологическим процессом порядка выполнения поездной и маневровой работы, графика исполненной работы станции, соответствующих журналов учета работы станции в соответствии с требованиями форм первичной учетной документации по хозяйству перевозок и инструктивных указаний по их составлению и ведению, а также к принятию оперативных мер по недопущению нарушений установленной технологии.

В [12] указано на необходимости контроля технических средств станции, а также необходимости проведения соответствующих мероприятий при превышении рационального уровня их загрузки. Такой подход к контролю и управлению технологическими процессами железнодорожных станций имеет два существенных недостатка. Во-первых, одним из основных показателей качества работы транспорта является срок доставки. Железнодорожный транспорт станции оказывает решающее влияние на данный показатель, так как вагон находится в процессе движения лишь около 10 % продолжительности своего оборота, а 90 % – на железнодорожных станциях и примыкающих к ним подъездных путях. В то же время контроль затрат времени на технологические процессы на станциях осуществляют лишь путем оценки математического ожидания величины простоя вагонов, безотносительно к каждой отдельной перевозке.

Во-вторых, для существующего подхода характерен значительный уровень субъективизма, как при установлении плановых показателей, так и при оценке результатов работы станций. В-третьих, существующие методы решений по изменению технологии, технического оснащения и путевого развития железнодорожных станций базируются на методах графического, графоаналитического и имитационного моделирования [3, 6, 11, 18].

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Исследования, выполненные в [10], показывают, что замена модели функционирования станции со случайной продолжительностью технологических операций на математическую модель с постоянной продолжительностью операций приводит к существенной погрешности результатов оценивания. Отсутствие данных о параметрах распределений случайных величин продолжительности выполнения технологических операций на станциях приводит к необходимости выполнения этапа обследования станций [9], что усложняет процесс оценки.

Определение понятия «технологический процесс» есть в нормативных документах, регламентирующих промышленное производство. ГОСТ 3.1109-82 [7] для области изготовления и ремонта изделий машино- и приборостроения определяет понятие технологического процесса как часть производственного, содержащего целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

В научной литературе понятие «технологический процесс» имеет значительное количество разнообразных определений. В частности, в [19] его определяют как основную часть производственного процесса, которая напрямую связана с изменением формы, размеров, качества поверхности и физико-химических свойств заготовки. Отмечено, что технологический процесс – это дискретный процесс, в котором состояние изготавливаемого элемента изменяется постепенно и обычно необратимо. В работе [21] технологический процесс рассматривают как часть производственного, которая связана с обработкой на рабочих местах производства отдельных продуктов. Отмечено, что технологические процессы происходят в рамках технологических систем и состоят в преобразовании входных элементов в искомую форму. Технологический процесс представляет собой совокупность технологических операций с целью превращения низшей ценности в высшую посредством действий человека. Он косвенно связан с элементами производства при их взаимном действии на отдельных производственных рабочих местах и содержит: методы работы на рабочем месте, режим работы, время и сложность работы, которую используют для производства продукта.

Нужно отметить, что объектами труда на железнодорожных станциях, как правило, является не сырье, а поезда, вагоны и локомотивы, грузы, документы и информация. В этой связи рассмотрим ряд более общих определений. Так, например, в [6] технологический процесс определен как процесс перевода предметов труда из одного состояния в другое посредством влияния внутренней среды производственно-технической системы на предмет труда через технологическое оборудование.

Дискретный и целенаправленный характер технологических процессов подчеркнут в [22]. В соответствии с данной работой технологический процесс – это отлаженная последовательность взаимосвязанных действий, начиная с момента генерации исходных данных до достижения желаемого результата. Технологические процессы состоят из технологических операций, которые, в свою очередь, определяются технологическими переходами. Технологические переходы названы законченной частью технологической операции, осуществляемой с использованием тех же инструментов технологического обеспечения. Другими словами, технологический процесс является частью производственного процесса, который включает в себя целенаправленные действия по изменению состояния предмета труда.

Достаточно общее определение понятия технологического процесса приведено в [26] – это метод работы, используемый в технологиях и состоящий из упорядоченной последовательности шагов, которые необходимо выполнить, чтобы удовлетворить потребность или решить проблему.

В целом выполненный анализ характерных особенностей технологического процесса позволяет выделить, что он является частью производственного процесса предприятий, имеет начало и окончание, а также состоит из определенного числа целенаправленных технологических операций. В этой связи будем считать, что документ «технологический процесс» описывает производственный процесс железнодорожной станции, включающий множество технологических процессов обработки на них поездов, локомотивов, вагонов, контейнеров, грузов, документов и информации. В качестве отдель-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ного технологического процесса можно, например, рассматривать погрузку вагона, расформирование состава на сортировочной горке и т. п. Такой подход к определению технологических процессов железнодорожных станций позволяет использовать для управления ими методы, разработанные для управления технологическими процессами в промышленности.

К свойствам любого технологического процесса можно отнести следующие:

- определенность, т. е. степень, в которой фактический процесс соответствует его первоначальному описанию;

- стоимость, т. е. общая стоимость выполнения функций процесса и передачи промежуточных результатов между ними;

- репликация – способность технологического процесса создавать выходные потоки с одинаковыми характеристиками, приближаясь к заданным характеристикам при повторных реализациях;

- управляемость, т. е. степень управления процессом для выполнения заранее поставленных задач;

- эффективность – степень оптимальности использования ресурсов для достижения необходимых результатов.

Фундаментальным свойством технологического процесса является более сложный аналог репликации, а именно стабильность технологического процесса. При этом информация, полученная в результате статистического анализа точности и стабильности технологического процесса, может быть использована в качестве аргумента для регулятора в системе управления с целью синтеза соответствующего управляющего воздействия.

Методы контроля и управления технологическими процессами, которые решают данные проблемы, широко применяют в промышленности. Методической основой данных методов является математическая статистика. Основные статистические методы, которые используют в промышленности, – это выборочные методы контроля, а также методы активного контроля технологических процессов. Выборочные методы в основном применяют при приемочном контроле для проверки соблюдения технических требований, предъявляемых к качеству

изделий [14, 16]. Эти методы не оказывают непосредственного влияния на производство изделий, а выявляют брак уже готовой продукции [1, 8]. Учитывая, что число обслуживаемых объектов на станциях не столь велико, как в промышленности, существенной потребности в использовании выборочных методов контроля для управления ими нет. Активный контроль направлен на обеспечение необходимого качества продукции в самом процессе производства, снижение потерь из-за брака и расходов на контроль.

Одним из широко используемых инструментов статистического управления технологическими процессами является предложенная Уолтером Шухартом контрольная карта [24]. Этот метод основывается на методах проверки статистических гипотез. При этом теория контрольных карт выделяет два вида вариабельности или изменчивости. Первый вид – изменчивость, вызванная случайными причинами (их также называют общими, естественными, внутренними, неконтролируемыми). Эта изменчивость обусловлена набором разнообразных причин, присутствующих постоянно, которые нелегко или невозможно выявить. Предположено, что эти причины формируют внутренне присущую процессу изменчивость. Второй вид вариабельности представляет собой реальное изменение в процессе. Такое изменение может быть следствием некоторых причин, не присутствующих процессу, которые можно идентифицировать и устранить, по крайней мере теоретически. Процесс находится в статистически управляемом состоянии или просто управляем, если изменчивость вызвана только случайными причинами. Как только этот уровень вариабельности определен, любое отклонение от него считают действием особых причин, которое следует выявить и исключить.

В современных условиях контрольные карты Шухарта широко используются как на промышленных предприятиях для анализа тех или иных производственных процессов, так и в образовании, медицине, сфере услуг, при анализе бизнеса, в государственном управлении и т. п. Детальный обзор научных работ по применению карт Шухарта выполнен Адлером и др. в работе [2]. Порядок использования контроль-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ных карт Шухарта регламентован міжнародним стандартом [20]. Однак в експлуатаційній роботі залізничного транспорту статистичні методи управління технологічними процесами поки не отримали широкого застосування. Даному питанню присвячені окремі роботи, переважно пов'язані з безпекою транспортних процесів. Зокрема, Самсонкін і Петінов у роботі [23] на основі карт Шухарта розробили метод оцінки стану машиністів. Хамидуліна і Тарасова у роботі [17] карти Шухарта запропонували використовувати для управління ризиками виробничого травматизму на залізничному транспорті.

Таким чином, виконаний аналіз наукових робіт по управлінню технологічними процесами залізничних станцій показує, що дана проблема остаточно не вирішена і потребує додаткових досліджень.

### Цель

У цій статті автори передбачають розробити статистичні методи контролю технологічних процесів роботи залізничних станцій на основі контрольних карт Шухарта.

### Методика

Для аналізу обрано технологічний процес технічного обслуговування вагонів вантажного поїзда в парку відправлення сортировочної станції. Процес технічного обслуговування поїзда по відправленню заключається в технічному огляді вагонів і усунуванні виявлених несправностей шляхом безотцепочного або отцепочного ремонту.

Норми [12, 13] вказують на граничну тривалість технічного огляду і ремонту вагонів. Потрібно зауважити, що процес технічного обслуговування поїздів по відправленню піддається впливу значущої кількості факторів, і його тривалість є випадковою величиною. В цих умовах методика контролю відповідності тривалості технічного обслуговування поїздів встановленої нормі залишається незрозумілою, так як ймовірність виходу випадкової величини за

вказані межі нормативними документами не встановлено. Крім того, технічне обслуговування вагонів на сортировочних станціях виконують працівники вагонного господарства, при цьому нормування їх штату здійснюють виходячи з можливості обслуговування поступаючого числа вагонів впродовж доби безвідносно до часу обслуговування окремого поїзда.

У навчальній літературі [15] норму часу на технічне обслуговування вагонів вантажних поїздів по відправленню трактується як гранична, а середню тривалість операції визначають за формулою:

$$t_{\text{обр}} = (1 - \alpha) \frac{\tau_{\text{осм}} m}{k_{\text{гр}}} + \alpha \left( t_{\text{рем}} + \frac{\tau_{\text{осм}} m}{2k_{\text{гр}}} \right), \quad (1)$$

де  $\alpha$  – частка складових, що потребують безотцепочного ремонту вагонів;  $\tau_{\text{осм}}$  – середня тривалість технічного огляду одного вагону;  $m$  – кількість вагонів в складі поїзда;  $k_{\text{гр}}$  – кількість груп оглядачів вагонів в бригаді ПТО;  $t_{\text{рем}}$  – середня тривалість безотцепочного ремонту вагонів, що припадає на один склад.

У [15] як приклад наведено наступні значення параметрів виразу (1):  $\alpha = 0,6$ ;  $\tau = 0,96$  мин,  $t_{\text{рем}} = 15$  мин. При цьому в нормативних документах, ні в навчальній літературі, ні в наукових працях не вказано порядок оцінки цих параметрів для конкретної станції.

У даному дослідженні розглянуто роботу сортировочних станцій Клепаров (Львівська залізниця) і Баладжары (Азербайджанська залізниця). Обслуговування поїздів по відправленню на обох станціях виконує одна бригада ПТО в складі однієї групи. Технологічні процеси роботи станцій Клепаров і Баладжары містять норми часу на технічне обслуговування поїздів по відправленню, які становлять відповідно 45 і 48 мин для складових поїздів з 57 вагонів.

Тривалість обслуговування складу поїзда бригадою, що складається з однієї групи, пропорційна кількості вагонів в ньому і може бути встановленою як:

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$t_{\text{обр}} = t_{\text{нк}} + \tau m$$

где  $t_{\text{нк}}$  – затраты времени на выполнение начальных и конечных операций;

$\tau$  – средняя продолжительность технического обслуживания одного вагона в поезде.

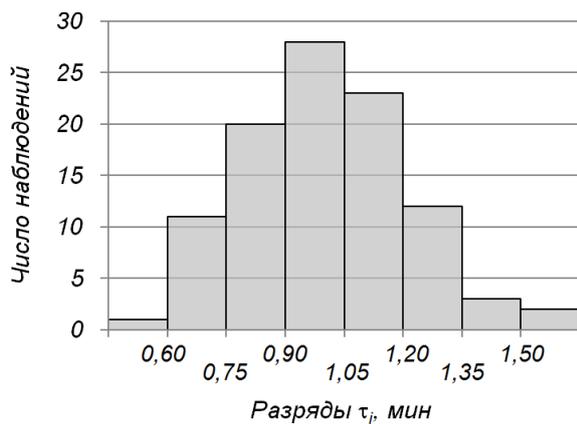
Примем, что затраты времени на выполнение начальных и конечных операций для разных поездов изменяются незначительно. В этих условиях продолжительность технического осмотра и ремонта, приходящиеся на один вагон  $i$ -го поезда, могут быть установлены как:

$$\tau_i = \frac{t_{\text{обр}} - t_{\text{нк}}}{m}.$$

В расчетах принято, что  $t_{\text{нк}} = 1$  мин. В результате нормативная продолжительность технического обслуживания одного вагона для станции Клепаров составляет 0,77 мин, а для станции Баладжары 0,82 мин.

Для оценки продолжительности обслуживания вагонов по отправлению на основании журналов формы ВУ–14 получены выборки значений продолжительности обслуживания поездов и числа вагонов в них. Гистограмма случайной величины  $\tau_i$  для станции Клепаров представлена на рис. 1, а, а для станции Баладжары – на рис. 1, б.

а – а



б – б

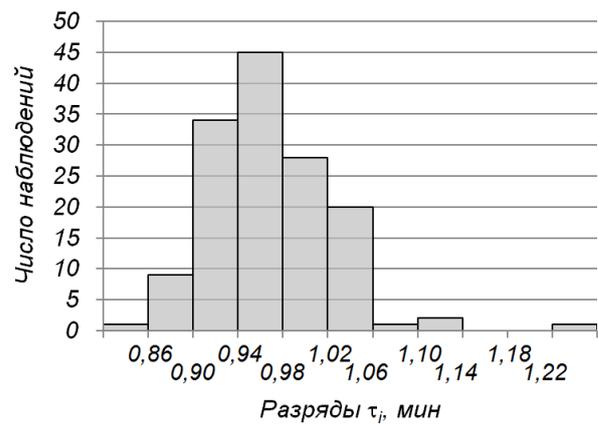


Рис. 1. Гистограммы распределения случайной величины:  
а – станция Клепаров; б – станция Баладжары

Fig. 1. Distribution histograms of random variable:  
а – Kleparov station; б – Baladzhar station.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

В этой связи при нормировании продолжительности технологических операций на станциях обязательно нужно проводить их обследование с целью выявления характерных особенностей работы.

Сравнение реальных продолжительностей технического обслуживания вагонов по отравлению на обеих станциях с нормативными значениями показывает, что они не соответствуют друг другу. Так, на станции Клепаров нормативное время технического обслуживания вагонов было превышено в 83 % наблюдаемых случаев, а на станции Баладжары – в 100 %. Учитывая то, что обе станции устойчиво работают в течение длительных периодов, основной причиной несоответствия, по-видимому, являются нормы, установленные без учета местных условий работы станций и методов контроля их выполнения.

Классическая карта Шухарта – это график значений определенных характеристик подгрупп в зависимости от их номеров. Она имеет центральную линию ( $CL$ ), соответствующую эталонному значению характеристики. При оценке того, находится ли процесс в статистически управляемом состоянии, эталонным обычно служит среднее арифметическое рассматриваемых данных  $\mu$ . При управлении процессом в качестве эталона может быть установлено значение, которое задано в технических условиях, номинальное значение, основанное на предыдущей информации о процессе или намеченное целевое значение характеристики продукции или услуги. Карта Шухарта имеет две статистические определяемые контрольные границы относительно центральной линии, которые называют верхней ( $UCL$ ) и нижней контрольной границей ( $LCL$ ). Контрольные границы на карте Шухарта находятся на расстоянии  $3\sigma$  от центральной линии, где  $\sigma$  – генеральное стандартное отклонение используемой статистики. Границы  $\pm 3\sigma$  указывают, что около 99,7 % значений характеристики подгрупп попадут в эти пределы при условии, что процесс находится в статистически управляемом состоянии. Нахождение всех точек контрольной карты между контрольными границами  $UCL$  и  $LCL$  можно рассматривать как свидетельство нахождения процесса в статистически управля-

емом состоянии. При этом существует риск, равный 0,3 %, что нанесенная точка окажется вне контрольных границ, когда процесс стабилен. Для интерпретации хода технологических процессов и проверки наличия особых причин, воздействующих на него, область между контрольными границами  $UCL$  и  $LCL$  делят на шесть зон шириной  $\sigma$ , которые располагаются симметрично от центральной линии  $CL$ :

- зона А: от  $\mu+2\sigma$  до  $\mu+3\sigma$ ;
- зона В: от  $\mu+\sigma$  до  $\mu+2\sigma$ ;
- зона С: от  $\mu$  до  $\mu+\sigma$ ;
- зона С: от  $\mu-\sigma$  до  $\mu$ ;
- зона В: от  $\mu-2\sigma$  до  $\mu-\sigma$ ;
- зона А: от  $\mu-3\sigma$  до  $\mu-2\sigma$ .

Указанные зоны позволяют установить признаки того, что процесс находится в статистически неуправляемом состоянии. Один из возможных наборов таких признаков приведен в работе [25], в соответствии с которой процесс находится в статистически неуправляемом состоянии, если на контрольной карте присутствуют следующие признаки:

- хотя бы одно из значений лежит за зоной А, т. е. выше контрольной границы  $UCL$  или ниже границы  $LCL$  (признак 1);
- 9 точек подряд лежат по одну сторону от центральной линии (признак 2);
- 6 возрастающих или 6 убывающих подряд точек (признак 3);
- 13 попеременно возрастающих и убывающих последовательных точек, напоминающих периодический процесс (признак 4);
- 9 последовательных точек, периодически находящихся выше и ниже центральной линии (признак 4а);
- 2 из 3 последовательных точек лежат в одной из зон А (признак 5);
- 4 из 5 последовательных точек лежат в зоне В или вне ее в зоне А по одну сторону от средней линии (признак 6);
- 13 последовательных точек в зоне С выше и ниже средней линии (признак 7);
- 5 последовательных точек по обеим сторонам средней линии и ни одной в зоне С (признак 8).

Технологические процессы работы железнодорожных станций имеют ряд характерных особенностей по сравнению с большинством

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

технологических процессов промышленности, для которых применяют методы статистического управления. Это связано с тем, что нормируемым параметром для станций является продолжительность технологических операций, а не геометрические размеры изделий. Так, минимальная продолжительность технического обслуживания вагонов ограничена скоростью прохода осмотровика вдоль состава, а доля вагонов с техническими неисправностями относительно невелика. В этой связи возможность ускорения продолжительности технического обслуживания вагонов отдельного поезда по сравнению со средним весьма ограничена. В то же время такие причины, как появление вагонов с техническими неисправностями, могут вызывать значительное увеличение продолжительности технологических процессов. Поэтому, как правило, для случайной величины продолжительности технологических процессов на железнодорожных станциях характерна асимметрия, и она не подвержена нормальному закону распределения. В этой связи порядок построения контрольных карт требует модификации.

### Результаты

Учитывая, что контролируемой характеристикой технологических процессов железнодорожных станций является их продолжительность, которая измеряема, то для статистического управления ими могут быть использованы количественные контрольные карты индивидуальных значений.

В случае, если продолжительность технологического процесса  $X$  подчинена логарифмически – нормальному закону распределения, для определения контрольных границ можно использовать параметры случайной величины  $Y = \ln(T)$ , ее математическое ожидание  $\mu$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ . Центральную линию контрольной карты проводят на уровне  $e^{\mu}$ , контрольные границы – на уровнях  $e^{\mu \pm 3\sigma}$  и границы зон – на уровнях  $e^{\mu \pm 2\sigma}$  и  $e^{\mu \pm \sigma}$ . Для оценки параметров распределения величин

$Y$  на начальном этапе внедрения методов статистического управления целесообразно использовать информацию о предыдущем протекании технологического процесса.

На основании обработки результатов наблюдений определено положение контрольных границ для станций Клепаров и Баладжары. При определении параметров распределения для станции Клепаров из выборки исключены значения меньше 0,5 мин на вагон. Это связано с тем, что среди наблюдаемых значений не было ни одного, которое попадает в интервал 0,5–0,6 мин на вагон. На станции Баладжары не было наблюдений проведения технического обслуживания с такой скоростью.

Для станции Баладжары из выборки исключено значение средней продолжительности осмотра вагонов в поезде, равное 1,26, которое классифицировано как нетипичное из-за превышения верхней контрольной границы.

Полученные контрольные карты для станций Клепаров и Баладжары представлены соответственно на рис. 2, а и б.

В обоих случаях технологический процесс может быть охарактеризован как статистически неуправляемый, что характерно для случаев, когда контрольные карты строят впервые. Анализ контрольной карты для станции Клепаров показывает, что имеют место случай выхода среднего времени осмотра вагона в поезде за пределы нижней контрольной границы (признак 1). Кроме того, имеет место случай шести возрастающих подряд точек (признак 3). Анализ контрольной карты для станции Баладжары показывает, что имеет место случай выхода среднего времени осмотра вагона в поезде за пределы верхней контрольной границы (признак 1).

В дальнейшем при разработке контрольных карт для контроля и управления технологическими процессами железнодорожных станций можно устанавливать прогрессивные нормы на основании статистического анализа результатов работы разных смен либо разных станций с подобной технологией.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

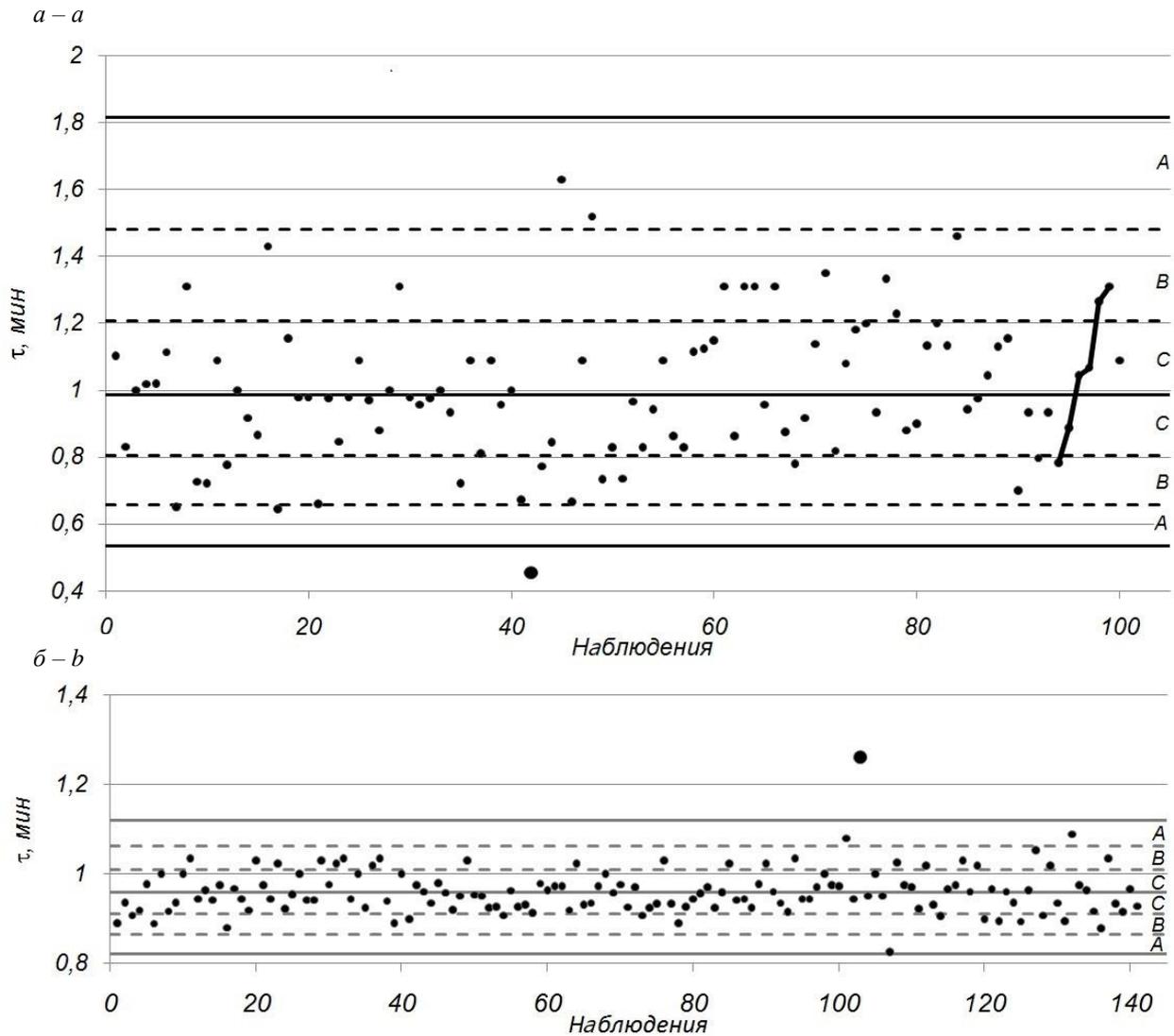


Рис. 2. Контрольная карта для статистического управления технологическим процессом технического обслуживания поездов по отправлению:  
*a* – станция Клепаров; *b* – станция Баладжары

Fig. 2. Control chart for statistical management of the technological process of technical maintenance of trains by departure:  
*a* – Kleparov station; *b* – Baladzhar station

### Научная новизна и практическая значимость

В данной работе впервые предложен метод управления технологическими процессами железнодорожных станций, основанный на использовании контрольных карт Шухарта. Применение предложенного метода позволяет, с одной стороны, адекватно выполнять кон-

троль продолжительности технологических операций, представляющих собой, как правило, случайные величины, а с другой – оценивать возможность реализации установленных технологическими процессами норм. На железнодорожном транспорте налажен систематический сбор информации о ходе технологических процессов, который в значительном числе случаев либо уже автоматизирован, либо подлежит ав-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

томатизації. Поєтому введення нових статистических методів контролю технологіеских процесів в основному буде зв'язано з розробкою нормативних документів, совершенствованием програмного забезпечення інформаційних систем, обученням персоналу, що не передполагає значительних економіеских витрат. Організація накоплення статистическої інформації о ході виконання технологіеских процесів також дозволить суттєво упростити побудову адекватних імітаційних моделей, учитываючих стохастичний характер функціонування залізничних станцій.

**Выводи**

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Сущескуючі методи контролю і управління технологіескими процесами залізничних станцій орієнтовані на виконання планових кільесвенних показателів і не дозволяють оцінювати ефективність роботи станції по відношенню до окремої перевезки. Крім того, для такого підходу характерен значительний рівень суб'єктивізму як при установленні планових показателів, так і при оцінці результатів роботи залізничних станцій. В цій зв'язі застосовувані методи контролю і управління технологіескими процесами залізничних станцій потребують совершенствования.

2. Основним критерієм для оцінки якості виконання технологіеских процесів, зв'язаних з обробкою поїздів, вагонів, локомотивів, контейнерів, вантажів, документів і інформації на залізничних станціях являється їх тривалість. Учитываючи те, що витрати часу на обробку вказаних об'єктів являються випадковими величинами, для контролю і управління технологіескими процесами станцій цілесобразно використовувати статистическі методи, в частині карти Шухарта.

3. На основі аналізу інформації о передьдущем протеканні технологіеского процесу обслуговування вантажних поїздів по відправленню на станціях Клепарів і Баладжари побудовані контрольні карти Шухарта для їх статистического контролю. Установлено, що, во-перших, в обох випадках технологіескі процеси являються статистически неуправляемыми, а во-вторых, існують суттєві відмінності між заданими в технологіескі процеси роботи станції нормами і реальною тривалістю обслуговування поїздів по відправленню.

4. Внедрення статистических методів управління технологіескими процесами залізничних станцій може бути реалізовано на основі існуючих автоматизованих систем управління, що не зв'язано з значительними капітальними витратами, а також збільшенням навантаження на персонал станцій.

**СПИСОК ІСПОЛЬЗОВАНИХ ІСТОЧНИКОВ**

1. Агаміров, Л. В. Методи статистического аналізу механіеских випробувань / Л. В. Агаміров. – Москва : Інтернет Інжинірінг, 2004. – 128 с.
2. Адлер, Ю. П. Контрольні карти Шухарта в Росії і за рубежом: короткий огляд сучасного стану (статистическі аспекти) [Електронний ресурс] / Ю. П. Адлер, О. В. Максимова, В. Л. Шпер // Стандарти і якість. – 2011. – № 8. – Режим доступу: <http://ria-stk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf> – Загл. с екрана. – Проверено : 05.09.2019.
3. Березовий, М. І. Оцінка пропускнуої спроможності промислової сортувальної станції з використанням її ергатичної моделі / М. І. Березовий, В. В. Малашкін, Р. Г. Коробйова // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 4. – С. 9–12. doi: <https://doi.org/10.15802/tstt2012/17119>
4. Бутько, Т. В. Інтелектуальне управління сортувальними станціями при перевезеннях небезпечних вантажів на основі багатомієвої оптимізації / Т. В. Бутько, В. М. Прохоров, Д. М. Чехунов // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 5 (77). – С. 41–52. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2018>
5. Верлан, А. І. Графоаналітеская модель функціонування залізничних станцій / А. І. Верлан // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 6, № 3(72). – С. 21–26.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

6. Власов, В. А. Моделирование технологических процессов изготовления промышленной продукции / В. А. Власов, И. А. Тихомиров, И. И. Локтев. – Томск : Изд-во Томского политех. ун-та, 2006. – 300 с.
7. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации (ЕСТД). Термины и определения основных понятий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200012103> – Загл. с экрана. – Проверено : 04.09.2019.
8. Зайцев, Г. Н. Управление качеством. Технологические методы управления качеством изделий / Г. Н. Зайцев. – Санкт-Петербург : Питер, 2014. – 271 с.
9. Козаченко, Д. М. Організація передпроектного обстеження залізничних станцій та вузлів / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, О. В. Горбова // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 7. – С. 27–32. doi: <https://doi.org/10.15802/tstt2014/35985>
10. Коробйова, Р. Г. Адекватність математичних моделей для визначення техніко-експлуатаційних показників роботи станцій / Р. Г. Коробйова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 28. – С. 29–33.
11. Лаврухин, А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы / А. В. Лаврухин // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 1 (55). – С. 43–53. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2015/38239>
12. Об утверждении Типового технологического процесса работы сортировочной станции ОАО «РЖД» (Вместе с Типовым технологическим процессом) [Электронный ресурс] : утв. распоряж. ОАО «РЖД» от 11.12.2014 N 2927р. – Режим доступа: [http://tender.rzd.ru/dbmm/download?vp=53&load=y&col\\_id=595&id=416383](http://tender.rzd.ru/dbmm/download?vp=53&load=y&col_id=595&id=416383) – Загл. с экрана. – Проверено : 04.09.2019.
13. Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи сортувальної станції : ЦД-0081 : затв. наказом Укрзалізниці від 22.12.2009 р. № 715-Ц. – Київ : Поліграфсервіс, 2010. – 230 с.
14. Рахматуллин, А. И. Математические модели и методы оптимизации нестационарных систем обслуживания / А. И. Рахматуллин, В. С. Моисеев. – Казань : Школа, 2006. – 212 с.
15. Сотников, И. Б. Эксплуатация железных дорог. В примерах и задачах / И. Б. Сотников. – Москва : Транспорт, 1990. – 232 с.
16. Филонов, И. П. Вероятностно-статистические методы оценки качества в машиностроении / И. П. Филонов, А. И. Медведев. – Минск : Тесей, 2000. – 127 с.
17. Хамидуллина, Е. А. Управление рисками производственного травматизма на железнодорожном транспорте на основе статистического анализа / Е. А. Хамидуллина, М. Н. Тарасова // XXI век. Техносферная безопасность. – 2016. – № 1 (1). – С. 88–95.
18. Bobrovskiy, V. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automate / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, R. Vernigora // Transport Problems. – 2014. – Vol. 9. – Iss. 3. – P. 57–65.
19. Feld, M. Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn / M. Feld. – Warsaw : Wydawnictwa naukowo-techniczne, 2003. – 708 s.
20. ISO 7870-2:2013. Control Charts. Part 2: Shewhart Control Charts [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/40174.html> – Загл. с экрана. – Проверено : 09.09.2019.
21. Lecic, D. Models and standards for production systems integration: Technological process and documents / D. Lecic // Yugoslav Journal of Operations Research. – 2016. – Vol. 15. – Iss. 2. – P. 221–241. doi: <https://doi.org/10.2298/yjor05022211>
22. Mahmudova, S. Methods of Organizing the Technological Process of Software Development / S. Mahmudova // Review of Information Engineering and Applications. – 2018. – Vol. 5. – Iss. 1. – P. 1–11. doi: <https://doi.org/10.18488/journal.79.2018.51.1.11>
23. Samsonkin, V. Development of the method of efficient monitoring of the main activity of a train driver / V. Samsonkin, Y. Petinov // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 3/3 (81). – С. 52–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71703>
24. Shewhart, W. A. Economic Control of Quality of Manufactured Product / W. A. Shewhart. – New York : D. Van Nostrand Company, 1931. – 467 p.
25. Trietsch, D. Statistical Quality Control: A Loss Minimization Approach [Электронный ресурс] / D. Trietsch. – 1999. – 404 p. – Режим доступа: <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/3378> – Загл. с экрана. – Проверено : 05.09.2019. doi: <https://doi.org/10.1142/337810.1142/3378>
26. UNIT 1. The Technological Process [Электронный ресурс] // IES Villablanca. – Режим доступа: <https://u.to/dNk-Fg> – Загл. с экрана. – Проверено : 05.09.2019.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Д. М. КОЗАЧЕНКО<sup>1\*</sup>, Ю. М. ГЕРМАНЮК<sup>2\*</sup>, Е. К. МАНАФОВ<sup>3\*</sup>

1\*Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

2\*Каф. «Транспортні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Львівська філія, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. +30 (032) 267 99 74, ел. пошта yuhermanyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4905-8313

3\*Каф. «Експлуатація залізничного транспорту», Азербайджанський технічний університет, пр. Г. Джавида, 25, Баку, Азербайджан, AZ 1073, тел. +994 (55) 741 79 39, ел. пошта elshan\_manafov@mail.ru, ORCID 0000-0001-5697-577X

## ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ

**Мета.** У цій статті автори передбачають розробити статистичні методи контролю технологічних процесів роботи залізничних станцій на основі контрольних карт Шухарта. **Методика.** Дослідження в статті виконано на основі методів статистичного контролю якості й теорії експлуатації залізниць. **Результати.** Наявні методи контролю виконання технологічних процесів залізничних станцій орієнтовані на досягнення кількісних показників їх роботи за безумовного виконання необхідного переліку технологічних операцій і дотримання вимог безпеки руху поїздів. У той же час проблема контролю дотримання якісних показників роботи станцій вимагає додаткових досліджень. Основним критерієм для оцінки якості виконання технологічних процесів, пов'язаних з обробкою поїздів, локомотивів, вагонів, контейнерів, вантажів, документів та інформації на залізничних станціях є їх тривалість. З огляду на те, що витрати часу на обробку зазначених об'єктів є випадковими величинами, для контролю й управління технологічними процесами станцій у статті запропоновано використовувати статистичні методи, зокрема карти Шухарта. Як приклад розглянуто процеси технічного обслуговування вагонів вантажних поїздів по відправленню і побудовано карти Шухарта для станцій Клепарів і Баладжари. Аналіз роботи обох станцій показав наявність істотного впливу місцевих умов на тривалість технічного обслуговування составів поїздів по відправленню, а також значні відхилення між його нормативною та фактичною тривалістю. **Наукова новизна.** У цій роботі вперше запропоновано метод управління технологічними процесами залізничних станцій, заснований на використанні контрольних карт Шухарта. **Практична значимість.** Застосування запропонованого методу дозволяє, з одного боку, адекватно здійснювати контроль тривалості технологічних процесів та окремих технологічних операцій, що, як правило, є випадковими величинами, а з іншого – оцінювати можливість реалізації встановлених технологічними процесами норм. Окрім того, організація накопичення статистичної інформації про хід виконання технологічних процесів також дозволить істотно спростити побудову адекватних імітаційних моделей, що враховують стохастичний характер функціонування залізничних станцій.

**Ключові слова:** залізничний транспорт; залізнична станція; технологічний процес; статистичний контроль якості; карти Шухарта

D. M. KOZACHENKO<sup>1\*</sup>, Y. N. HERMANIUK<sup>2\*</sup>, E. K. MANAFOV<sup>3\*</sup>

1\*Dep. «Operational Management», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Laz-aryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

2\*Dep. «Transport Systems», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lviv Branch, I. Blazhkevych St., 12 a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. +30 (032) 267 99 74, e-mail yuhermanyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4905-8313

3\*Dep. «Railway Transport Operation», Azerbaijan Technical University, G. Javid Av., 25, Baku, Azerbaijan, AZ 1073, tel. +994 (12) 741 79 39, e-mail elshan\_manafov@mail.ru, ORCID 0000-0001-5697-577X

## CONTROL ORGANIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF RAILWAY STATIONS ON THE BASIS OF STATISTICAL METHODS

**Purpose.** The article is aimed to develop statistical methods for monitoring the technological processes of railway stations` operation based on Stewhart charts. **Methodology.** The research is based on the methods of statistical quality control and the theory of railways operation. **Findings.** Existing methods for monitoring the implementation of technological processes of railway stations are focused on achieving quantitative indicators of their work while unconditionally fulfilling the necessary list of technological operations and observing train movement safety requirements. At the same time, the problem of monitoring compliance with quality indicators of railway stations` operation requires additional research. The main criterion for evaluating the quality of technological processes associated with the processing of trains, locomotives, cars, containers, cargoes, documents and information at railway stations is their duration. Considering that the time spent on processing these objects is random, it is proposed to use statistical methods, in particular, Stewhart charts, for monitoring and controlling the technological processes of the stations` operation. As an example, we discussed the processes of maintenance of freight train cars after departure and constructed Stewhart charts for Kleparov and Baladzhar'y stations. Operation analysis of both stations showed a significant influence of local conditions on the duration of train maintenance by departure, as well as significant deviations between its standard and actual duration. **Originality.** For the first time this paper proposed a method for controlling technological processes of railway stations based on the use of Stewhart control charts. **Practical value.** Application of the proposed method makes it possible, on the one hand, to adequately control the duration of technological processes and individual technological operations, which are usually random variables, and on the other hand, to evaluate the feasibility of implementing the norms established by technological processes. In addition, the organization at the stations of accumulating statistical information on the progress of technological processes will also significantly simplify the construction of adequate simulation models that take into account the stochastic nature of railway stations` functioning.

*Keywords:* railway transport; railway station; technological process; statistical quality control; Stewhart charts

### REFERENCES

1. Agamirov, L. V. (2004). *Metody statisticheskogo analiza mekhanicheskikh ispytaniy*. Moscow: Internet Inzhiniring. (in Russian)
2. Adler, Y. P., Maksimova, O. V., & Shper, V. L. (2011). Kontrolnye karty Shukharta v Rossii i za rubezhom: kratkiy obzor sovremennogo sostoyaniya (statisticheskie aspekty). *Standarty i kachestvo*, 8. Retrieved from <http://ria-stk.ru/upload/image/stq/2011/N8/082011-1.pdf> (in Russian)
3. Berezovyi, M. I., Malashkin, V. V., & Korobiova, R. H. (2012). Evaluation Capacity Industrial Yard with Her Ergatic Model. *Transportni systemy ta tekhnologii perevezen*, 4, 9-12. doi: <https://doi.org/10.15802/tstt2012/17119> (in Ukrainian)
4. Butko, T. V., Prokhorov, V. M., & Chekhunov, D. M. (2018). Intelligent control of marshalling yards at transportation of dangerous goods based on multiobjective optimization. *Science and Transport Progress*, 5(77), 41-52. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2018> (in Ukrainian)
5. Verlan, A. I. (2014). Grafoanaliticheskaya model funktsionirovaniya zheleznodorozhnykh stantsiy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/3(72), 21-26. (in Russian)
6. Vlasov, V. A., Tikhomirov, I. A., & Loktev, I. I. (2006). *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov izgotovleniya promyshlennoy produktsii*. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. (in Russian)
7. Unified system for technological documentation. Terms and definitions of main concepts. GOST 3.1109-82. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200012103> (in Russian)
8. Zaytsev, G. N. (2014). *Upravlenie kachestvom. Tekhnologicheskie metody upravleniya kachestvom izdeliy*. St. Petersburg: Piter. (in Russian)
9. Kozachenko, D. M., Vernyhora, R. V., & Horbova, O. V. (2014). Organization of the pre-survey train stations and nodes. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 0(7), 27-32. doi: <https://doi.org/10.15802/tstt2014/35985> (in Ukrainian)

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

10. Korobyova, R. H. (2009). The Adequacy of Mathematical Models for Determination of the Performance of the work Station. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 28, 29-33. (in Ukrainian)
11. Lavrukhin, O. V. (2015). Intellectual model formation of railway station work during the train operation execution. *Science and Transport Progress*, 1(55), 43-53. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2015/38239> (in Russian)
12. Ob utverzhdenii Tipovogo tekhnologicheskogo protsessa raboty sortirovochnoy stantsii OAO «RZhD» (Vmeste s Tipovym tekhnologicheskim protsessom), N 2927p. (2014). Retrieved from [http://tender.rzd.ru/dbmm/download?vp=53&load=y&col\\_id=595&id=416383](http://tender.rzd.ru/dbmm/download?vp=53&load=y&col_id=595&id=416383) (in Russian)
13. Praktychni rekomendatsii shchodo skladannia tekhnolohichnoho protsesu roboty sortuvalnoi stantsii. (2010). TsD-0081: nakaz Ukrzaliznytsi No. 715-TS. Kyiv: Polihrafservis. (in Ukrainian)
14. Rakhmatullin, A. I., & Moiseev, V. S. (2006). *Matematicheskie modeli i metody optimizatsii nestatsionarnykh sistem obsluzhivaniya*. Kazan: Shkola. (in Russian)
15. Sotnikov, I. B. (1990). *Ekspluatatsiya zheleznykh dorog. V primerakh i zadachakh*. Moscow: Transport. (in Russian)
16. Filonov, I. P., & Medvedev, A. I. (2000). *Veroyatnostno-statisticheskie metody otsenki kachestva v mashinostroenii*. Minsk: Tesey. (in Russian)
17. Khamidullina, E. A., & Tarasova, M. N. (2016). Statistics-based occupational traumatism risk management in railway industry. *Technosphere Safety. XXI Century*, 1(1), 88-95. (in Russian)
18. Bobrovskiy, V., Kozachenko, D., & Vernigora, R. (2014). Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automate. *Transport Problems*, 9(3), 57-65. (in English)
19. Feld, M. (2003). *Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn*. Warsaw: Wydawnictwa naukowo-techniczne. (in Polish)
20. ISO 7870-2:2013. Control Charts. Part 2: Shewhart Control Charts. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/40174.html> (in English)
21. Lecic, D. (2005). Models and standards for production systems integration: Technological process and documents. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 15(2), 221-241. doi: <https://doi.org/10.2298/yjor05022211> (in English)
22. Mahmudova, S. (2018). Methods of Organizing the Technological Process of Software Development. *Review of Information Engineering and Applications*, 5(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.18488/journal.79.2018.51.1.11> (in English)
23. Samsonkin, V., & Petinov, Y. (2016). Development of the method of efficient monitoring of the main activity of a train driver. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/3(81), 52-58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71703> (in English)
24. Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. New York: D. Van Nostrand Company. (in English)
25. Trietsch, D. (1999). *Statistical Quality Control: A Loss Minimization Approach*. doi: <https://doi.org/10.1142/337810.1142/3378> (in English)
26. UNIT 1. The Technological Process. *IES Villablanca*. Retrieved from <https://u.to/dNk-Fg> (in English)

Поступила в редколлегию: 06.03.2019

Принята к печати: 01.07.2019