

УДК 629.46/.47:519.876.5:004

В. В. МЯМЛИН<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 371 51 10, эл. почта minimax1992@gmail.com, ORCID 0000-0002-8008-9097

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ ВАРИАНТОВ ГИБКИХ ПОТОКОВ ДЛЯ РЕМОНТА ВАГОНОВ ПРИ ПОМОЩИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Цель.** В работе необходимо усовершенствовать методы организации ремонта вагонов за счет поиска рациональных структур гибких потоков для ремонта вагонов. **Методика.** Использовалось имитационное моделирование для анализа функционирования вагоноремонтных потоков. Исходными данными для генерирования случайных величин продолжительности ремонта вагонов выступали статистические данные, собранные на действующих вагоноремонтных предприятиях. **Результаты.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что при одном и том же количестве модулей более эффективным является гибкий ремонтный поток. Гибкий поток позволяет увеличить пропускную способность, повысить съём вагонов с одного модуля и сократить продолжительность простоя вагонов в ремонте. **Научная новизна.** Были выявлены закономерности, позволяющие установить связи между различными структурными вариантами гибкого потока и их эксплуатационными показателями. Получены конкретные данные, позволяющие по-новому взглянуть на организацию вагоноремонтного производства. **Практическая значимость.** Данные результаты могут быть использованы при проектировании новых перспективных предприятий для ремонта вагонов, а также при реконструкции или расширении существующих предприятий с целью перевода их на гибкий поток. Рекомендуется при проектировании и строительстве новых вагоноремонтных предприятий обязательно учитывать полученные результаты и стараться внедрить их в производство.

**Ключевые слова:** ремонт вагонов; гибкий поток; имитационное моделирование; анализ вагоноремонтных структур; проектирование вагоноремонтных предприятий

### Введение

Данная статья продолжает тему, затронутую в работах [1–12, 17–24]. Нахождение правильных принципов организации ремонта вагонов, позволяющих сочетать высокопроизводительный поточный метод с вероятностной природой ремонтного производства, уже давно является актуальной задачей, стоящей перед учеными и проектировщиками, занимающимися разработкой вагоноремонтных предприятий. Вместе с тем, во времена Советского Союза произошло чрезмерное увлечение жесткими поточными линиями для ремонта вагонов и, поэтому, сегодня приходится пожинать плоды такого непродуманного подхода – практически все вагонные депо ремонтируют вагоны при помощи низкопроизводительного стационарного метода. Эффективный поток организовать никак не получается – здания депо спроектированы таким образом, что радикально изменить структуру потока не представляется возможным. Поэтому сейчас нужны современные вагоноремонтные

предприятия с поточными производствами, функционирующими по совсем иным принципам.

### Цель

Цель работы – поиск рациональных структур гибких потоков для ремонта вагонов. Под рациональной будем понимать такую структуру, при которой достигается наибольший съём вагонов с одного ремонтного модуля. Учитывая, что гибкие потоки для ремонта вагонов в настоящее время присутствуют только в теоретических разработках, очень важно знать, как поведут они себя в период эксплуатации, после того, как будут построены и начнут функционировать. Поэтому очень важно еще на стадии проектирования уже знать, каких технико-экономических показателей можно ожидать от их работы, и насколько эти показатели будут отличаться от показателей работы традиционных поточных линий для ремонта вагонов, используемых в настоящее время. Для этой цели был задействован имитационный эксперимент.

### Методика

Для исследования потоков ремонта вагонов были использованы алгоритмы и методы расчета, представленные в работах [13–16, 25–26]. На основании этих алгоритмов была разработана специальная имитационная программа. При разработке которой использовалась среда приложения Microsoft Visual Studio 2010, а сам текст программы написан на алгоритмическом языке Visual Basic.

В результате имитационного моделирования на компьютере работы потока вычислялись следующие показатели: пропускная способность технологического потока, средний такт потока, среднее квадратическое отклонение такта, среднее время простоя вагонов в ремонте, среднее квадратическое отклонение времени простоя в ремонте, коэффициенты использования позиций, коэффициенты загрузки позиций, а также другие показатели, необходимые для более глубокого понимания процессов, происходящих во время функционирования потока.

Для имитационного моделирования работы конкретного потока необходимо сначала определиться с его структурой. Будем условно считать, что «длина» потока определяется количеством ремонтных позиций (фаз), а его «ширина» – количеством модулей (каналов) на позиции.

Как показали исследования, проведенные на различных уже действующих предприятиях, количество ремонтных позиций находится в диапазоне от 4 до 12. Следует помнить, что с уменьшением количества позиций, объемы работ, выполняемые на позициях, приходится укрупнять. Увеличение числа позиций неизбежно приводит к дополнительным перемещениям объектов ремонта. Количество позиций зависит от принятого технологического процесса ремонта, состава технологического оборудования и комплексов выполняемых работ. На наш взгляд целесообразно иметь на потоке от 5 до 7 позиций. В идеальном случае, конечно, весь технологический процесс желательно распределить между специализированными позициями в равных долях. Но, учитывая специфику вагоноремонтного производства, да еще его вероятностный характер, на практике это осуществить невозможно. Ведь нет никакой гарантии, что продолжительности разборочных, сборочных, правильных, газорезательных,

электросварочных, слесарных, тормозных, окрасочных работ на каждом вагоне будут равны.

В качестве исходного варианта была принята самая простая структура потока, состоящая из шести позиций с одним ремонтным модулем на каждой позиции. По сути дела, это даже не гибкий поток, а – полужесткий. Все вагоны, ремонтируемые на таком потоке, имеют один и тот же путь движения. Структурная гибкость такого потока равна единице. Поток, состоящий из одного модуля на каждой позиции, не является поликанальным и не позволяет осуществлять «обгоны» между ремонтируемыми вагонами.

В качестве ремонтируемых вагонов, был принят самый многочисленный тип грузовых вагонов – полувагон.

В качестве интервала времени моделирования был взят годовой фонд рабочего времени предприятия  $F_{\Pi} = 7\ 810$  ч ( $355 \times 11 \times 2$ ).

Вся сложность функционирования потока состоит в том, что продолжительность ремонта вагонов на каждой позиции является случайной величиной, зависящей от большого количества различных факторов. В качестве исходных данных для расчета случайной величины времени выполнения ремонтных работ на каждой позиции были использованы статистические данные, собранные в вагоносборочном участке одного из передовых действующих вагоноремонтных предприятиях. На основании этой статистики программа определенным образом генерирует случайное время выполнения работ по каждому вагону для каждой позиции. Затем определяется возможность перемещения вагона на один из модулей следующей позиции. Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение времени выполнения работ на позициях представлены в табл. 1.

Для того, чтобы проследить тенденцию изменения показателей работы потока с изменением его структуры и выявить зависимости между ними, был использован метод «расширения узких мест». Суть этого метода состоит в добавлении еще одного модуля к той позиции, которая имеет наибольшую загрузку и, таким образом, «тормозит» движение потока.

После добавления очередного модуля к одной из позиций, имеющей наибольший коэффициент загрузки, осуществлялось повторное моделирование работы потока. Затем снова из-

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

менялась структура потока путем добавления еще одного модуля уже к другому «узкому месту» и так далее. После добавления дополнительного модуля к позиции, производительность ее увеличивается, и пропускная способность ее возрастает. Если возрастает пропускная способность бывшего «узкого места», то, естественно, возрастает и пропускная способность всего потока. Однако она возрастает до тех пор, пока снова не появится «узкое место», которое также будет сдерживать движение потока.

Таблица 1

**Параметры случайных величин времени выполнения работ на позициях**

Table 1

**Random variables parameters of works runtime on the positions**

Позиция	Математическое ожидание, мин	Среднеквадратическое отклонение, мин
Первая	268,9	128,8
Вторая	68,2	50,9
Третья	275,3	118,0
Четвертая	79,4	138,1
Пятая	63,8	65,8
Шестая	120,3	4,9

При обычном расчете потока количество модулей на позициях должно задаваться сразу, исходя из равенства пропускных способностей позиций. В общем случае количество модулей на позиции должно быть пропорционально времени выполнения ремонтных работ на этой позиции.

В нашем же случае, приняв по одному модулю на каждой позиции и используя метод «расширения узких мест», мы хотели наглядно продемонстрировать, как изменяются эксплуатационные показатели потока с изменением его структуры. Из рис. 1 и табл. 2–3 хорошо видно, что с увеличением количества модулей на потоке на одну единицу обязательно увеличивается и его пропускная способность. Но увеличение пропускной способности еще не говорит о том, что улучшаются и все остальные показатели.

### Результаты

Результаты моделирования различных структурных вариантов гибкого потока представлены в табл. 2.

На рис. 1 представлен график зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его пропускной способностью.

На рис. 2 представлен график зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его структурной гибкостью.



Рис. 1. Зависимость между количеством ремонтных модулей на потоке и его пропускной способностью

Fig. 1. Dependency between the amount of repair modules on the flow and its working capacity

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблиця 2

Результаты моделирования различных структурных вариантов гибкого потока

Table 2

The simulation results of different structural variants of the flexible flow

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Колличество модулей, $R$	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Пропускная способность, $N$	1 398	1 686	2 325	2 604	2 682	2 876	3 694	4 099	4 286	4 674	4 965	5 926	6 249	6 377	6 975	7 357	7 518	8 741	9 172
№ поддерживаемой позиции	3	1	3	1	6	4	3	1	3	2	5	3	1	6	3	1	4	3	1
Структурная гибкость, $\psi$	1	2	4	6	9	18	36	48	60	80	160	320	384	480	720	840	1 008	1 512	2 268
Съем вагонов с 1 модуля, $\theta$	233	241	291	290	268	261	308	315	306	312	310	349	347	336	349	350	342	380	382
Простой в ремонте, $T$ , ч	20,6	18,0	22,6	23,5	23,1	23,8	19,7	19,5	19,6	21,9	23,5	19,7	19,8	22,12	19,1	19,0	20,5	18,2	18,8

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблица 3

Зависимость пропускной способности потока от количества модулей

Table 3

## Dependency of flow working capacity on the number of modules

№/ п/п	Количество модулей на потоке	Пропускная способность потока	Рост пропускной способности потока по сравнению с предыдущим вариантом		Рост пропускной способности потока по сравнению с базовым вариантом	
			Вагоны	%	Вагоны	%
1	6	1 398	–	–	–	–
2	7	1 686	288	20,60	288	20,60
3	8	2 325	639	37,9	927	66,30
4	9	2 604	279	12,0	1 206	86,26
5	10	2 682	78	2,99	1 284	91,84
6	11	2 876	194	7,23	1 478	105,72
7	12	3 694	818	28,44	2 296	164,23
8	13	4 099	405	10,96	2 701	193,20
9	14	4 286	187	4,56	2 888	206,58
10	15	4 674	388	9,05	3 276	234,33
11	16	4 965	291	6,22	3 567	255,15
12	17	5 926	961	19,35	4 528	323,89
13	18	6 249	323	5,45	4 851	346,99
14	19	6 377	128	2,04	4 979	356,15
15	20	6 975	598	9,37	5 577	398,92

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Окончание табл. 3  
End of Table 3

№/ п/п	Количество модулей на потоке	Пропускная способность потока	Рост пропускной способности потока по сравнению с предыдущим вариантом		Рост пропускной способности потока по сравнению с базовым вариантом	
			Вагоны	%	Вагоны	%
16	21	7 357	382	5,47	5 959	426,25
17	22	7 518	161	2,18	6 120	437,76
18	23	8 741	1 223	16,26	7 343	525,25
19	24	9 172	431	4,93	7 774	556,08

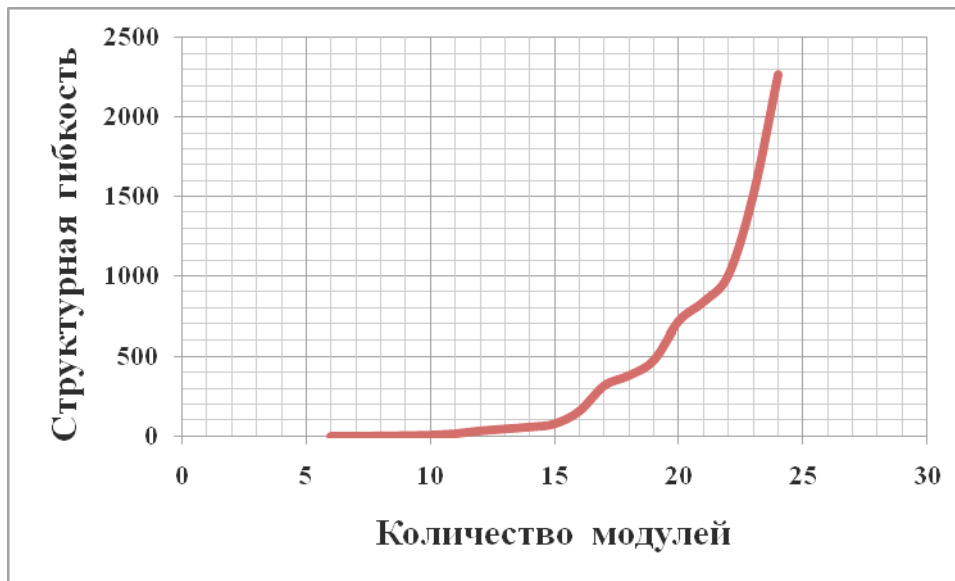


Рис. 2. Залежність між кількістю модулів на потоці та його структурною гнучкістю

Fig. 2. Dependency between the number of modules on the flow and structural flexibility

Результати моделювання різних структурних варіантів технологічних потоків для ремонту вагонів свідчать про те, що збільшення кількості модулів пропускна здатність потоку зростає. Разом з тим, вона зростає по-різному: в одних випадках – на незначительну величину, в інших – дуже суттєво. Все залежить від того, яку роль грає даний модуль в цьому структурному варіанті.

Найбільш комплексним показником, що характеризує ефективність роботи потоку в цілому, є кількість вагонів з одного ремонтного модуля. Як видно з табл. 2, збільшення кількості модулів цей показник має тенденцію до збільшення.

Спробуємо порівняти між собою структурні варіанти різних типів потоків. Для точності експерименту будемо порівнювати показники роботи тільки тих варіантів різних типів потоків, які складаються з однакової кількості модулів. Варіанти традиційних потоків будемо розглядати, як просту сукупність окремих полужестких потоків, незалежних один від одного. Як базовий варіант потоку візьмемо шестипозиційний потік. Тому будемо порівнювати варіанти різних потоків, що складаються з кількості модулів кратної шість.

Так як шестимодульний потік має пропускну здатність, рівну 1 398 вагонів в рік, то дванадцятимодульний потік (два нитки по

шість модулів) матиме пропускну здатність 2 796 вагонів в рік (1 398×2) і так далі.

В табл. 4 представлені результати моделювання порівнюваних варіантів структур потоків різних типів. Отримані результати свідчать про те, що при однаковій кількості модулів більш ефективним є гнучкий ремонтний потік.

Слід зазначити, що на позитивні можливості гнучких потоків звернули увагу і американські спеціалісти [27].

Таким чином, шляхом правильного розподілу трудомісткості робіт між позиціями та вибору необхідної кількості модулів на позиціях, можна досягти високих техніко-економічних показників роботи потоку. При цьому пропускну здатність позицій повинні бути приблизно однаковими. Пропускна здатність всього потоку буде залежати від пропускну здатності найбільш завантажених позицій.

Вибір конкретного шляху переміщення вагона між модулями позицій залежить від багатьох випадкових факторів. В тому випадку, якщо при заданій структурі потоку  $\psi > N$ , то у кожного конкретного вагона виникає теоретична можливість мати свій індивідуальний шлях переміщення, не збігаючийся з шляхами переміщення інших вагонів.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

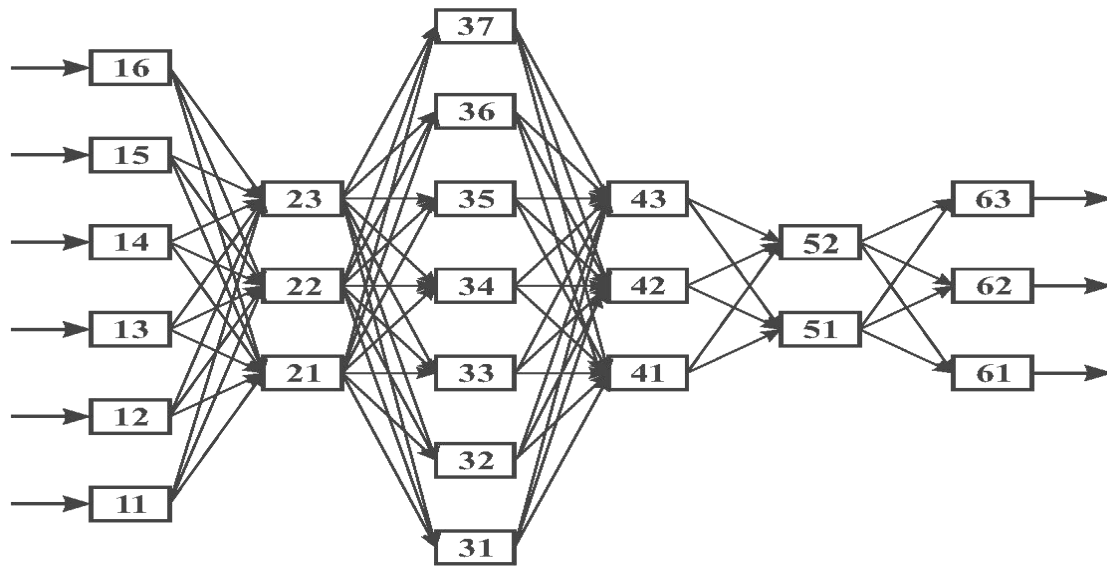


Рис. 3. Вариант структуры гибкого потока, состоящий из 24 ремонтных модулей

Fig. 3. Structure variant of flexible flow consisting of 24 repair modules

Таблица 4

## Пропускная способность потоков разных типов

Table 4

## Working capacity of flows of different types

Традиционный поток		Гибкий поток		Рост пропускной способности	
Количество модулей	Пропускная способность	Количество модулей	Пропускная способность	Вагон	%
6	1398	6	–	–	–
12	2 796	12	3 694	898	32,1
18	4 194	18	6 249	2 055	49,0
24	5 592	24	9 172	3 580	64,0
30	6 990	30	11 496	4 506	64,5
36	8 388	36	14 191	5 803	69,5

На рис. 3 представлен вариант структуры гибкого потока, состоящий из 24 ремонтных модулей.

На основании данных, полученных в результате моделирования, можно сделать вывод, что преимущества гибких потоков для ремонта вагонов начинают проявляться уже на начальных стадиях наращивания дополнительных мо-

дулей на позициях. Но наиболее ярко преимущества гибких потоков проявляются при значительном количестве модулей. Поэтому для эффективного их функционирования нужен определенный «простор», чтобы было где «развернуться». Целесообразное значение программы ремонта должно находиться в диапазоне от 6 000 до 9 000 вагонов в год.

#### Научная новизна и практическая значимость

Впервые с помощью имитационного моделирования были исследованы процессы функционирования различных структурных вариантов потоков для ремонта вагонов. Были выявлены закономерности, позволяющие установить связи между различными вариантами структур гибкого потока и их эксплуатационными показателями.

Исследования показали, что в результате усложнения структуры потока в ней появляются новые возможности, благоприятно влияющие на протекание технологического процесса функционирования потока и позволяющие «сглаживать» вероятностную природу ремонтного производства. В результате чего возрастает пропускная способность потока и сокращается простой вагонов в ремонте.

К новым возможностям относятся, например, такие возможности, как «обгоны» между



## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

вагонами, выбор варианта пути перемещения. Традиционные поточные линии такими возможностями не обладают, что делает их очень уязвимыми к различным случайным факторам, оказывающим большое влияние на ход протекания технологического процесса ремонта вагонов, что, в конечном счете, отражается на их технико-экономических показателях.

Данные результаты могут быть использованы при проектировании новых перспективных предприятий для ремонта вагонов, а также при реконструкции или расширении существующих предприятий, с целью перевода их на гибкий поток.

**Выводы**

1. Полученные результаты свидетельствуют о том, что принятые в настоящее время «классические» поточные линии для ремонта вагонов являются далеко не лучшим решением, так как не учитывают вероятностную природу ремонтного производства.

2. Более весомых технико-экономических показателей можно достичь за счет использования гибких потоков для ремонта вагонов, обладающих значительной свободой в перемещении, что делает их менее уязвимыми от действия случайных факторов, присущих вагоноремонтному производству.

3. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение возможности ремонта в составе единого гибкого потока вагонов разных типов, а также выполнения разных видов ремонта.

4. Необходимо собрать статистическую базу данных о трудоемкостях ремонта вагонов других типов, которая могла бы послужить информационной основой для исходных данных, используемых при имитационном моделировании гибких вагоноремонтных потоков.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Автоматизированные системы обработки информации и гибкие технологии на ремонтных предприятиях / М. М. Болотин, В. Г. Воротников, Т. В. Второва, И. В. Козловский // Автоматизация и соврем. технологии. – 1992. – № 8. – С. 21–23.
2. Бараш, Ю. С. Поточные линии гибкого маневрирования / Ю. С. Бараш, В. И. Сенько, А. Ф. Люлько // Ж.-д. трансп. – 1987. – № 2. – С. 64–65.
3. Болотин, М. М. Моделирующие алгоритмы и автоматизация расчетов / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Мир трансп. – 2008. – № 3. – С. 100–109.
4. Болотин, М. М. Новая технология ремонта вагонов / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Ж.-д. трансп. – 1991. – № 9. – С. 29–33.
5. Вагонное хозяйство / под ред. П. А. Устича. – М. : Маршрут, 2003. – 560 с.
6. Васецкий, В. В. Оптимизация управления потоками заявок на ремонт в условиях многостадийного вагоноремонтного производства / В. В. Васецкий, С. А. Олейникова, В. М. Питолин // Информац. технологии моделирования и упр. – 2006. – № 7 (32). – С. 882–890.
7. Воротников, В. Г. Модульный конвейер / В. Г. Воротников, Р. Мартынов // Гудок. – 2010. – 1 июля.
8. Воротников, В. Г. Основные принципы моделирования процессов функционирования гибких производственных систем вагонных депо / В. Г. Воротников, А. А. Денисенко // Безопасность движения поездов (01.11-02.11.2007) : материалы 8-ой науч.-практ. конф. – Москва, 2007. – С. VI–3.
9. Воротников, В. Г. Перспективные направления повышения производственного потенциала вагонных депо / В. Г. Воротников // Безопасность движения поездов (01.11-02.11.2007) : материалы 8-ой науч.-практ. конф. – Москва, 2007. – С. VI–3 –VI–4.
10. Губенко, В. К. Основные определения и показатели гибкого ремонтного процесса цистерн / В. К. Губенко, В. П. Литвиненко, Г. Г. Псарас ; Ждан. металлург. ин-т. – Жданов, 1986. – 19 с. – Деп. В УкрНИИТИ 22.09.1986, № 2229-Ук86.
11. Котуранов, В. Н. Пути усиления вагоноремонтной базы / В. Н. Котуранов, М. М. Болотин, С. Н. Муравьев // Ж.-д. трансп. – 1994. – № 11. – С. 54–56.
12. Миронов, А. Ю. Сокращать простои вагонов в ремонте / А. Ю. Миронов // Ж.-д. транспорт. – 2007. – № 8. – С. 22–23.
13. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчета / В. В. Мямлин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 26. – С. 28–33.
14. Мямлин, В. В. Гибкие потоки для ремонта вагонов и особенности имитационного моделирования их работы / В. В. Мямлин // Трансп. Росс. Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 57–60.
15. Мямлин, В. В. Компонентные решения организационно-технологических структур перспективных вагоноремонтных депо с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 55–62.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

16. Мямлин, В. В. Структуры гибких вагоноремонтных участков и их влияние на количество возможных вариантов пути перемещения вагонов между позициями потока / В. В. Мямлин // Вестн. Рост. гос. ун-та путей сообщ. – 2013. – № 4 (52). – С. 77–86.
17. Образование параметров и оснащение гибких поточных линий по ремонту вагонов / В. Г. Воротников и др. // Автоматизация и современ. технологии. – 1993. – № 3. – С. 3–5.
18. Сенько, В. И. Новая технология ремонта грузовых вагонов / В. И. Сенько, И. Л. Чернин // Акт. проблемы развития ж.-д. трансп. (24.09–25.09.1996) : тез. докл. II Межд. науч.-практ. конф. – М. : МГУПС, 1996. – С. 113.
19. Сенько, В. И. Развитию деповской базы – научный поход / В. И. Сенько // Ж.-д. трансп. – 1990. – № 6. – С. 41–42.
20. Скиба, И. Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве / И. Ф. Скиба, В. А. Ежиков. – М. : Транспорт, 1982. – 136 с.
21. Старых, С. А. Повышение эффективности ремонта грузовых вагонов / С. А. Старых // Ж.-д. трансп. – 2007. – № 8. – С. 24–27.
22. Структура и параметры гибкой организации вагоноремонтного процесса / А. Е. Дударев, В. П. Свинухов, В. Г. Анофриев, Л. П. Безовская // Вопросы улучшения ходовых частей и обслуживания вагонов. – Днепропетровск : ДИИТ, 1987. – Вып. 255/10. – С. 65–69.
23. Технологія ремонту рухомого складу. Ч. 1 : навч. посіб. / В. О. Шамагін, М. Ф. Ареф'єв, В. Н. Пасько, В. Л. Михайлюков. – К. : Дельта, 2008. – 479 с.
24. Тухарели, О. Г. Ремонту вагонов – индустриальную базу / О. Г. Тухарели, Р. Г. Морчиладзе // Ж.-д. трансп. – 1985. – № 1. – С. 42–44.
25. Myamlin, V. V. Asynchronous flexible stream of wagon repair and modeling of its functioning process as aggregated system / V. V. Myamlin // Transbaltica 2009 (22.04–23.04.2009) : Proc. of the 6-th Intern. Sci. Conf. / Vilnius Gediminas Techn. Univ., Lithuania. – Vilnius : Technika, 2009. – P. 173–178.
26. Myamlin, V. Searching of the ways of definition of the rational configuration of divisions of the car-repair facilities on the basis of the flexible stream on the design stage / V. Myamlin // ТЕКА. Commiss. of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 4. – С. 167–173
27. Pat. 6769162 US, МПК<sup>7</sup>, В 23 Р 6/00. Railcar maintenance process / J. Barich David, Barich D. M., Donahue T. P. ; assignee General Electric Company. – № 09/725656 ; filed 29.11.2000 ; Date of Pat. 03.08.2004.

В. В. МЯМЛІН<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 371 51 10, ел. пошта minimax1992@gmail.com, ORCID 0000-0002-8008-9097

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РІЗНИХ СТРУКТУРНИХ ВАРІАНТІВ ГНУЧКИХ ПОТОКІВ ДЛЯ РЕМОНТУ ВАГОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Мета.** У роботі необхідно удосконалити методи організації ремонту вагонів за рахунок пошуку раціональних структур гнучких потоків для ремонту вагонів. **Методика.** Використовувалось імітаційне моделювання для аналізу функціонування вагоноремонтних потоків. Вихідними даними для генерування випадкових величин тривалості ремонту вагонів виступали статистичні дані, зібрані на діючих вагоноремонтних підприємствах. **Результати.** Отримані результати свідчать про те, що при одній і тій же кількості модулів більш ефективним є гнучкий ремонтний потік. Гнучкий потік дозволяє збільшити пропускну здатність, підвищити знання вагонів з одного модуля та скоротити тривалість простою вагонів у ремонті. **Наукова новизна.** Були виявлені закономірності, що дозволяють встановити зв'язки між різними структурними варіантами гнучкого потоку та їх експлуатаційними показниками. Отримано конкретні дані, що дозволяють по-новому поглянути на організацію вагоноремонтного виробництва. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при проектуванні нових перспективних підприємств для ремонту вагонів, а також при реконструкції або розширенні існуючих підприємств із метою переведення їх на гнучкий потік. Рекомендується при проектуванні та будівництві нових вагоноремонтних підприємств обов'язково враховувати отримані результати й намагатися впровадити їх у виробництво.

**Ключові слова:** ремонт вагонів; гнучкий потік; імітаційне моделювання; аналіз вагоноремонтних структур; проектування вагоноремонтних підприємств

V. V. MYAMLIN<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Car and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 371 51 10, e-mail minimax1992@gmail.com, ORCID 0000-0002-8008-9097

## OPERATION STUDY OF DIFFERENT STRUCTURAL OPTIONS OF FLEXIBLE FLOWS FOR CAR REPAIR USING SIMULATION MODELING

**Purpose.** The article is aimed to improve the methods of car repair organization using the search of rational structures of flexible flows. **Methodology.** For operation analyses of the car repair flows the simulation modeling was used. The initial data for random value generation of cars repair duration are the statistical data. They were collected at the existing car repair enterprises. **Findings.** Obtained results show that at the same amount of modules the flexible repair flow is more efficient. Flexible flow increases the working capacity, improves the removal of cars from one module and reduces car detention time in repair. **Originality.** There were identified the mechanisms, which allow establishing links between the different structural variants of flexible flow and their operational performance. Concrete data that give a fresh look to the organization of car repair production were obtained. **Practical value.** These results can be used in designing the new perspective enterprises for car repair and also under reconstruction or expansion of existing enterprises in order to transfer them to the flexible flow. It is recommended to incorporate the obtained results and try to put them into production during designing and construction of new car enterprises.

**Keywords:** car repair; flexible flow; simulation modeling; analysis of car repair structures; design of car repair enterprises

### REFERENCES

1. Bolotin M.M., Vorotnikov V.G., Vtorova T.V., Kozlovskiy I.V. Avtomatizirovannyye sistemy obrabotki informatsii i gibkiye tekhnologii na remontnykh predpriyatiyakh [Automated data processing systems and flexible technologies at the repair bases]. *Avtomatizatsiya i sovremennyye tekhnologii – Automation and high technologies*, 1992, no. 8, pp. 21-23.
2. Barash Yu.S., Senko V.I., Lyulko A.F. Potochnyye linii gibkogo manevrirovaniya [Production lines of flexible maneuvering]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1987, no. 2, pp. 64-65.
3. Bolotin M.M., Vorotnikov V.G. Modeliruyushchiye algoritmy i avtomatizatsiya raschetov [Modeling algorithms and automation of calculations]. *Mir transporta – Transport World*, 2008, no. 3, pp. 100-109.
4. Bolotin M.M., Vorotnikov V.G. Novaya tekhnologiya remonta vagonov [The new technology of car repair]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1991, no. 9, pp. 29-33.
5. Ustich P.A. *Vagonnoye khozyaystvo* [Car facilities]. Moscow, Marshrut Publ., 2003. 560 p.
6. Vasetskiy V.V., Oleynikova S.A., Pitolin V.M. Optimizatsiya upravleniya potokami zayavok na remont v usloviyakh mnogostadiynogo vagonoremontnogo proizvodstva [Control optimization of arrivals for repair in the conditions of the multistage car-repair production]. *Informatsionnyye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya – Information Technology of Modeling and Control*, 2006, no. 7 (32), pp. 882-890.
7. Vorotnikov V.G., Martynov R. *Modulnyy konveyer* [Modular conveyor]. Gudok, 2010, July, 1<sup>st</sup>.
8. Vorotnikov V.G., Denisenko A.A. Osnovnyye printsipy modelirovaniya protsessov funktsionirovaniya gibkikh proizvodstvennykh sistem vagonnykh depo [The main principles of modeling the functioning of flexible manufacturing systems in car-repair sheds]. *Materialy 8 nauchno-prakticheskoy konferentsii «Bezopasnost dvizheniya poyezdov»* [Proc. of the 8th Int. Sci. and Practical Conf. «Trains movement safety»]. Moscow, pp. VI-3.
9. Vorotnikov V.G. Perspektivnyye napravleniya povysheniya proizvodstvennogo potentsiala vagonnykh depo [Perspective lines of production potential increasing of car-repair sheds]. *Materialy 8 nauchno-prakticheskoy konferentsii «Bezopasnost dvizheniya poyezdov»* [Proc. of the 8th Int. Sci. and Practical Conf. «Trains movement safety»]. Moscow, pp. VI-3–VI-4.
10. Gubenko V.K., Litvinenko V.P., Psaras G.G. *Osnovnyye opredeleniya i pokazateli gibkogo remontnogo protsessa tsistern* [Basic definitions and indicators of flexible repair process in tanks]. *Zhdanov*, no. 2229-Uk86., 1986. 19 p.
11. Koturanov V.N., Bolotin M.M., Muravyev S.N. Puti usileniya vagonoremontnoy bazy [Strengthening ways of car repair base]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1994, no. 11, pp. 54-56.

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

12. Mironov A.Yu. Sokrashchat prostoi vagonov v remonte [To reduce cars detention in repair]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2007, no. 8, pp. 22-23.
13. Myamlin V.V. Analiz osnovnykh parametrov asinkhronnogo gibkogo potoka remonta vagonov i metody ikh rascheta [Main parameters analysis of asynchronous flexible flow of cars repair and the methods of their calculation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 26, pp. 28-33.
14. Myamlin V.V. Gibkiye potoki dlya remonta vagonov i osobennosti imitatsionnogo modelirovaniya ikh raboty [Flexible flows for cars repair and simulation modeling features of their work]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of Russian Federation*, 2013, no. 3 (46), pp. 57-60.
15. Myamlin V.V. Komponovochnyye resheniya organizatsionno-tekhnologicheskikh struktur perspektivnykh vagonoremontnykh depo s asinkhronnymi gibkimi potokami remonta vagonov [Layout arrangements of organizational and technological structures of perspective car-repair sheds with asynchronous flexible flows of cars repair]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 31, pp. 55-62.
16. Myamlin V.V. Struktury gibkikh vagonoremontnykh uchastkov i ikh vliyanie na kolichestvo vozmozhnykh variantov puti peremeshcheniya vagonov mezhdru pozitsiyami potoka [Structures of flexible cars-repair sections and their effect on the number of possible variants of the movement cars way between the positions of a flow]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of Rostov State University of Communication Lines], 2013, issue, no. 4 (52), pp. 77-86.
17. Vorotnikov V.G. Obrazovaniye parametrov i osnashcheniye gibkikh potochnykh liniy po remontu vagonov [Parameters formation and equipment of flexible production lines at cars repair]. *Avtomatizatsiya i sovremennyye tekhnologii – Automation and high technologies*, 1993, no. 3, pp. 3-5.
18. Senko V.I., Chernin I.L. Novaya tekhnologiya remonta gruzovykh vagonov [New technology of freight car repair]. *Tezisy dokladov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnyye problemy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta»* [Proc. of the II Int. Sci. and Practical Conf. «Urgent problems of railway transport development»], Moscow, 1996, pp. 113.
19. Senko V.I. Razvitiyu depovskoy bazy – nauchnyy podkhod [To the development of a depot base – a scientific approach]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1990, no. 6, pp. 41-42.
20. Skiba I.F., Yezhikov V.A. *Kompleksno-mekhanizirovannyye potochnyye linii v vagonoremontnom proizvodstve* [Integrated and mechanized flow lines in car repair production]. Moscow, Transport Publ., 1982. 136 p.
21. Starykh S.A. Povysheniye effektivnosti remonta gruzovykh vagonov [Improvement of freight cars repair effectiveness]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2007, no. 8, pp. 24-27.
22. Dudarev A.Ye., Svinukhov V.P., Anofriyev V.G., Bezovskaya L.P. Struktura i parametry gibkoy organizatsii vagonoremontnogo protsessa [Structure and parameters of the flexible organization of car repair process]. *Voprosy uluchsheniya khodovykh chastey i obsluzhivaniya vagonov* [Issues of improvement the running gears and car service]. Dnipropetrovsk, 1987, issue 255/10, pp. 65-69.
23. Shamahin V.O., Arefiev M.F., Pasko V.N., Mykhailiukov V.L. *Tekhnologiya remonu rukhomoho skladu. Ch. 1* [Repair technology of rolling stock. Part 1]. Kyiv, Delta Publ., 2008. 479 p.
24. Tukhareli O.G., Morchiladze R.G. Remontu vagonov – industrialnuyu bazu [Industrial base is for cars repair]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 1985, no. 1, pp. 42-44.
25. Myamlin V.V. Asynchronous flexible stream of wagon repair and modeling of its functioning process as aggregated system. Proc. of the 6-th Int. Sci. Conf. «Transbaltica 2009». Vilnius, 2009, pp. 173-178.
26. Myamlin V. Searching of the ways of definition of the rational configuration of divisions of the car-repair facilities on the basis of the flexible stream on the design stage. TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. *An international quarterly journal on motorization, vehicle operation, energy efficiency and mechanical engineering*, 2013, vol. 13, no. 4, pp. 167-173.
27. Barich David J., Barich D.M., Donahue T. P. Railcar maintenance process. Assignee General Electric Company. Patent US, no. 09/725656.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Л. Горобцом (Украина); д.т.н., проф. О. А. Бейгулом (Украина)*

Поступила в редколлегию 18.03.2014

Принята к печати 30.04.2014