

## ВЛИЯНИЕ СИНХРОНИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ ГРУЗОПОТОКОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОЛЬЦЕВОГО ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В.Ю. Конопотский

Томский политехнический университет

E-mail: kent@tpu.ru

*Исследуется зависимость эффективности кольцевых маршрутов движения транспортных средств от уровня согласованности графиков их движения с графиками доставки грузов на отдельных звеньях транспортного кольца. Исследуется влияние степени рассогласования этих графиков на величину ряда количественных характеристик функционирования кольцевого маршрута. В качестве инструмента исследования использовано имитационное моделирование. Получены характерные трендовые зависимости значений вышеуказанных характеристик от времени протекания процесса при различных уровнях рассогласования.*

### **Ключевые слова:**

*Кольцевой маршрут, фронты погрузки и разгрузки, график движения, ожидание начала логистической процедуры, линия (уравнение) тренда характеристики процесса.*

### **Key words:**

*Circular route, loading and unloading areas, schedule, waiting for the beginning of the logistic procedure, line (equation) of process characteristic trend.*

В статье рассматривается один из существенных аспектов задачи формирования эффективных кольцевых перевозок в логистических системах различного уровня – от регионального до производственных участков предприятий. Здесь анализируется динамический процесс взаимодействия транспортного средства (ТС), осуществляющего перевозки по кольцевому маршруту в одном направлении, и совокупности локальных грузопотоков, являющихся «исходным материалом» для построения кольцевого маршрута.

Обладея очевидными достоинствами, кольцевое движение выдвигает ряд достаточно четких условий целесообразности его организации. Вопрос состоит в обеспечении, с одной стороны, непрерывного движения ТС по «кольцу» (отсутствии простоев в ожидании разгрузки и погрузки), а с другой – исключении (или хотя бы минимизации) простоев фронтов разгрузки и погрузки (соответственно нахождения на них грузов) в ожидании прибытия ТС [1]. Чтобы излишне не усложнять модель функционирования «кольца», предположим, что в каждом включенном в него пункте осуществляются только эти операции. Данное условие не влияет на адекватность примененной модели реальным объектам, т. к. все процессы рассматриваются только с точки зрения их временной протяженности, поэтому, например, под разгрузкой можно понимать весь комплекс процедур по обработке прибывшего груженого ТС.

Очевидно, что полное исключение этих негативных фактов, далее рассматриваемых как количественные аргументы функций оценки экономических потерь, возможно только при полной синхронизации режима (графика) движения ТС по маршруту (в том числе в границах пунктов) и готовности фронтов разгрузки и погрузки к обработке прибывающих ТС [2]. Готовность определяется незанятостью фронтов разгрузки в текущий момент обработкой ранее прибывших ТС и своевре-

менным наличием на фронтах погрузки готового для отправки далее по «кольцу» груза. Если полная синхронизация не обеспечена, то возникают следующие негативные факторы (потери времени), обозначаемые как  $F_i$ :  $F_1$  – простой фронта разгрузки в ожидании ТС, прибывающего в пункт с грузом;  $F_2$  – простой фронта погрузки в ожидании ТС, которое должно принять отправляемый из пункта груз;  $F_3$  – простой ТС вследствие того, что фронт разгрузки данного пункта не готов принять его сразу по прибытии (обрабатываются ранее прибывшие ТС);  $F_4$  – простой готового к погрузке ТС вследствие того, что подлежащая отправке далее по «кольцу» партия груза своевременно не поступила на пункт по внешнему по отношению к «кольцу» пути;  $F_5$  – увеличение сверх минимально необходимого уровня объемов грузов, временно находящихся на пункте, данный фактор полностью определяется парой  $F_2$  и  $F_3$ ;  $F_6$  – накапливающееся отклонение от равномерного графика движения ТС по маршруту, негативное влияние которого носит общесистемный характер (в общем случае трудно точно указать границы и объекты влияния), в частности – увеличение  $F_6$  ведет к росту  $F_1$  и  $F_2$ .

Чем сильнее рассинхронизация  $\sigma$ , тем больше величины  $F_i$  и связанные с ними потери. Следовательно, превышение ею определенного (критического) уровня может поставить под сомнение целесообразность организации кольцевого движения. Учитывая, что ограничение и снижение  $\sigma$  требует значительных организационных (в том числе транзакционных) и материальных затрат, в каждом конкретном случае необходима хотя бы приближенная оценка данного уровня. Непосредственная цель исследования заключается в установлении общего характера количественных зависимостей величин  $F_i$  от  $\sigma$ , а его инструмент – статистическое моделирование последних на принятой модели кольцевого транспортно-логистического процесса.

Дадим краткую характеристику используемой модели. Имеется  $n=10$  пунктов, равномерно распределенных по кольцевой траектории. Из каждого  $i$ -го пункта загружаемые здесь партии груза должны доставляться в следующий по ходу одностороннего движения пункт. Режим движения грузов на каждом участке («плече»)  $\{x \rightarrow (x+1)\}$  непосредственно не связан с движением на других участках – это независимые грузопотоки (или их фрагменты), которые интегрированы в кольцевой маршрут вследствие их пространственного положения. Принято, что режим движения ТС между пунктами четко детерминирован (плановые графики движения могут нарушаться только по причине сверхнормативных задержек в пунктах, обусловленных несогласованностью с ними времени готовности фронтов). Данное предположение реально потому, что ТС является внутренним элементом системы кольцевого движения, следовательно стабильность затрат времени на движениеские операции достижима ценой разумных усилий. Обозначим через  $t_x^+$  и  $t_x^-$  нормативы времени соответственно на разгрузку и погрузку в  $x$  пункте, а через  $t_{x,x+1}$  – нормативное время движения на плече  $\{x \rightarrow (x+1)\}$ . Далее для описания и моделирования процесса используются условные единицы времени (у. е. в.). В случае полной синхронизации функционирования всех  $(2n+1)$  элементов рассматриваемой системы (ТС,  $n$  фронтов разгрузки и столько же фронтов погрузки), т. е. при  $\sigma=0$ , процесс выглядит следующим образом. К моменту прибытия ТС в пункт  $x$  его фронт разгрузки готов к обработке (высвобожден после предыдущей процедуры) и сразу приступает к ней. Спустя  $t_x^+$  у. е. в. разгрузка завершена и ТС поступает на фронт погрузки, который именно к этому моменту готов его принять для загрузки очередной партии, отправляемой в пункт  $(x+1)$ . Загрузка длится ровно  $t_x^-$ , после чего ТС немедленно отправляется в пункт  $(x+1)$ , куда прибывает через  $t_{x,x+1}$ , и где повторяется аналогичный цикл процедур и т. д., теоретически в течение любого промежутка времени.

В данном исследовании рассинхронизация функционирования ТС и интегрированных в кольцевое движение локальных потоков заключается в наличии случайных отклонений от идеального графика работы фронтов погрузки и разгрузки – моменты их готовности к обработке ТС отличаются от идеальных на нормально распределенную случайную величину  $\varepsilon$  с нулевым средним и средним квадратическим отклонением  $\sigma$ , которое выполняет роль количественной меры рассинхронизации в системе «ТС ↔ фронты» [3]. Задачей является выявление зависимости факторов  $F_i$  от величины  $\sigma$ .

Проведенное статистическое испытание заключалось в 20-кратном модельном прохождении ТС по вышеописанному кольцевому маршруту, при этом процедурным нормативам  $t_x^+$ ,  $t_x^-$  и  $t_{x,x+1}$  были присвоены значения 1; 1 и 2. Это было сделано только для удобства расчетов, т. к. значения этих констант никак не влияют на характер исследуемых зависимостей, так же как и принятое значение

$n=10$ . Значение аргумента  $\sigma$ , принятое одинаковым для всех пунктов и видов фронтов, изменялось в диапазоне  $[0,1; 0,6]$  с шагом 0,1. Превышение его верхней границы излишне по двум причинам. Во-первых, в этих границах четко идентифицируется характер зависимостей  $F_i(\sigma)$ , и, во-вторых, режимы работы большинства систем операционного типа (в том числе логистических) со значениями относительных характеристик внутреннего рассогласования порядка 0,5 и более, как правило, однозначно нерациональны.

На рис. 1 показан типичный характер поведения фактора  $F_1$  для 200 пунктов маршрута при  $\sigma=0,3$  и соответствующая линия тренда  $Y_1=0,099 \ln x + 0,427$ ,  $x$  – текущий номер пунктов маршрута в порядке их прохождения. Здесь, как и для всех прочих подобных зависимостей, наиболее удачной оказалась логарифмическая функция.

На рис. 2 дана аналогичная характеристика поведения фактора  $F_2$  также при  $\sigma=0,3$ , здесь линия тренда описывается уравнением  $Y_2=0,159 \ln x + 0,173$ . В обоих случаях логарифмический характер тренда (быстро замедляющийся рост) легко объясним нормальным законом поведения  $\varepsilon$  – чем больше максимальное из ранее встретившихся его значений, тем меньше вероятность его превысить и тем меньше это превышение. То же самое справедливо для  $F_3$  и  $F_6$ .

Тренды значений  $F_1$  и  $F_2$  в итоге выходят на квазипредельный уровень, т. е. на рубеже 180...200 у. е. в. после начала испытания процесс приходит в состояние, близкое к стационарному. При этом практически во всем диапазоне  $F_2 > F_1$ , что объясняется дополнительным воздействием на  $F_2$  случайной вариации моментов готовности фронтов разгрузки.

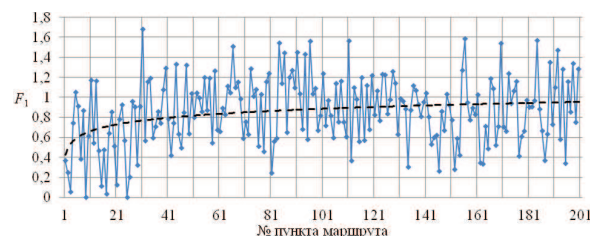


Рис. 1. Поведение фактора  $F_1$  ( $\sigma=0,3$ )

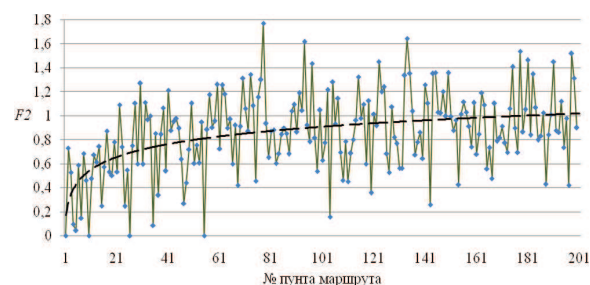


Рис. 2. Поведение фактора  $F_2$  ( $\sigma=0,3$ )

На рис. 3 показано полученное семейство трендов для  $F_i(\sigma_i)$ ,  $i=1...6$ . При всех  $\sigma_i$  по ходу процесса средние потери растут, соответствующие уравнения трендов имеют вид.

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 0,018 \ln x + 0,191 \text{ при } \sigma_1 = 0,1; \\
 Y_1 &= 0,088 \ln x + 0,090 \text{ при } \sigma_2 = 0,2; \\
 Y_1 &= 0,099 \ln x + 0,427 \text{ при } \sigma_3 = 0,3; \\
 Y_1 &= 0,109 \ln x + 0,567 \text{ при } \sigma_4 = 0,4; \\
 Y_1 &= 0,227 \ln x + 0,281 \text{ при } \sigma_5 = 0,5; \\
 Y_1 &= 0,178 \ln x + 0,766 \text{ при } \sigma_6 = 0,6.
 \end{aligned}$$

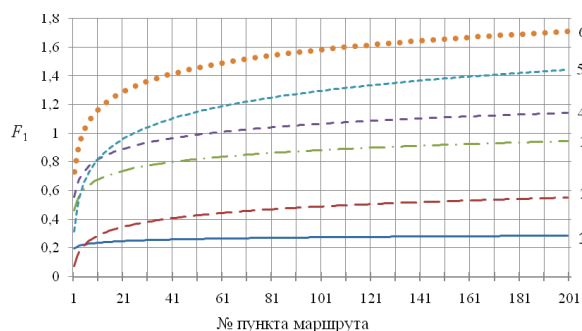


Рис. 3. Семейство линий тренда  $F_1$  для  $\sigma$ : 1) 0,1; 2) 0,2; 3) 0,3; 4) 0,4; 5) 0,5; 6) 0,6

Далее аналитические выражения трендов величин  $F_i$  не приводятся ввиду их идентичности с точностью до параметров.

Таким образом, наглядно проявилось негативное влияние роста рассинхронизации движения ТС и готовности фронтов на фактор потерь  $F_1$ . При этом их практический потолок можно приближенно принять равным  $3\sigma$ . Отметим, что данный количественный результат, являющийся частным проявлением «Закона 3 сигм», справедлив только для нормально распределенного параметра  $\sigma$ .

Практически аналогичную картину потерь типа  $F_2$  показывает рис. 4. При одинаковых значениях  $\sigma$   $F_2$  в среднем превышает  $F_1$  на 1...10 %, причем разница растет с увеличением  $\sigma$ .

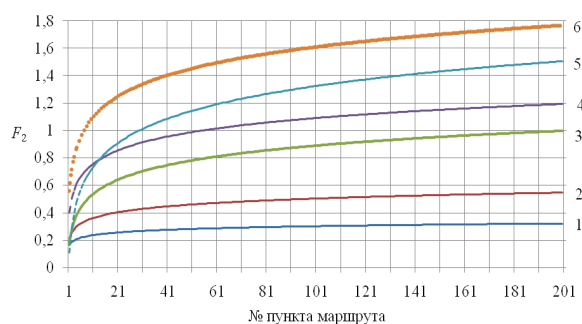


Рис. 4. Семейство линий тренда  $F_2$  для  $\sigma$ : 1) 0,1; 2) 0,2; 3) 0,3; 4) 0,4; 5) 0,5; 6) 0,6

Кратко следует коснуться вопроса колеблемости текущих значений факторов  $F_1$  и  $F_2$ . Ее зависимость от  $\sigma$ , оцениваемая тем же показателем среднего квадратического отклонения, показана на рис. 5, т. е. с ростом  $\sigma$  значительно и устойчиво растет и случайное рассеивание данных факторов, что оказывает отдельное негативное влияние на эффективность рассматриваемой системы.

Что касается факторов  $F_3$  и  $F_4$  (простой ТС в ожидании их обработки), то величина данных по-

терь оказалась незначительной, достаточно отметить, что ненулевые значения  $F_3$  появились только в 7 %, а ненулевые значения  $F_4$  – в 7,5 % случаев прохождения ТС через пункты маршрута. Более полная характеристика результатов этой части исследования представлена в таблице, причем учтены только ненулевые значения  $F_{3j}$  и  $F_{4j}$ ,  $j=1, 2, \dots, 200$ .

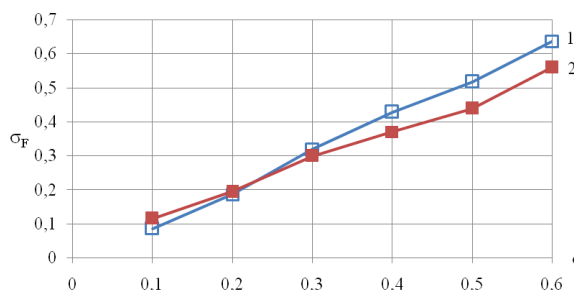


Рис. 5. Рост с изменением  $\sigma$  средней вариации факторов: 1)  $F_1$ ; 2)  $F_2$

Таблица. Данные о простоях ТС

$\sigma$	$F_3$			$F_4$		
	Кол-во значений	Максимум	Среднее	Кол-во значений	Максимум	Среднее
0,1	2	0,116	0,0701	2	0,103	0,074
0,2	3	0,342	0,135	1	0,37	0,037
0,3	2	0,101	0,089	4	0,437	0,185
0,4	2	0,299	0,167	2	0,557	0,349
0,5	4	0,388	0,233	2	0,648	0,326
0,6	1	0,297	0,297	4	0,827	0,364

На рис. 6 показано изменение средних величин «выбросов»  $F_{3i}$  и  $F_{4i}$  и соответствующие тренды, уравнения которых имеют вид

$$Y = 0,014 + 0,043x \text{ и } Y = -0,025 + 0,07x,$$

т. е., несмотря на редкость этих событий, величина их негативного влияния возрастает с увеличением  $\sigma$ .

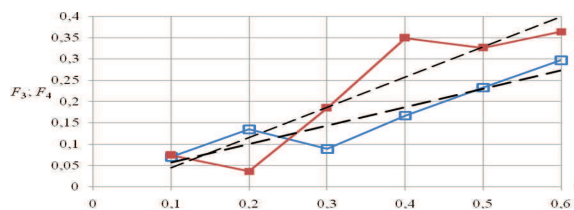


Рис. 6. Поведение в зависимости от  $\sigma$  средних значений выбросов: 1)  $F_3$ ; 2)  $F_4$

Наконец, на рис. 7 показано характерное влияние  $\sigma$  ( $\sigma=0,6$ ) на опоздание прибытия ТС в очередной пункт маршрута. Фактор  $F_6$  здесь в отличие от ранее рассмотренных  $F_i$  кусочно-постоянен, что положительно влияет на эффективность системы, и подобно им стремится к стабилизации на уровне незначительно превышающем  $3\sigma$ .

На рис. 8 представлено семейство соответствующих логарифмических трендов фактора  $F_6$  для различных  $\sigma$ . С увеличением  $\sigma$  приблизительно пропорционально растут как средние, так и условно-предельные значения  $F_6$ . Отметим, что среди всех учитываемых факторов  $F_i$  последний яв-

ляется наиболее существенным, так как не просто выражает еще один аспект эффективности системы, но может использоваться как интегральный показатель последней. Кроме того, он существенно коррелирован с  $F_1$  и  $F_2$  (средние значения коэффициентов корреляции соответственно 0,40 и 0,44).

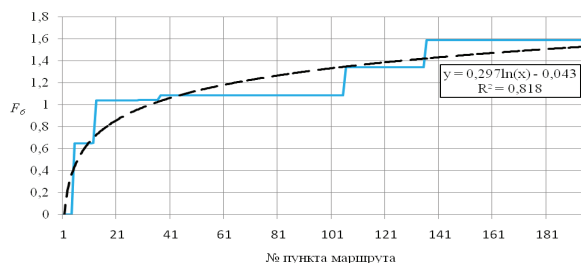


Рис. 7. Характерное поведение фактора  $F_6$  ( $\sigma=0,6$ )

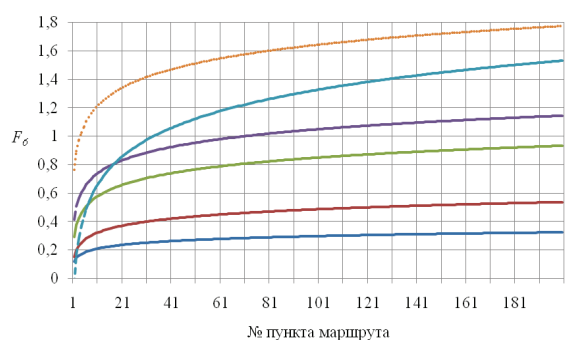


Рис. 8. Семейство линий тренда  $F_6$  для  $\sigma$ : 1) 0,1; 2) 0,2; 3) 0,3; 4) 0,4; 5) 0,5; 6) 0,6

Возвращаясь к вопросу определения целесообразности (экономичности) кольцевого движения, следует отметить, что полученные результаты еще не дают ответа на него. Он может быть получен с помощью функции изменения затрат на логистическое обеспечение заданной совокупности потоков при использовании этого движения, которая в общем виде такова

$$L = \Delta C_{\text{пост.}} E + \Delta C_{\text{перем.}} + \sum_{i=1}^6 \Phi_i[F_i(\sigma)],$$

где  $\Delta C_{\text{пост.}}$  и  $\Delta C_{\text{перем.}}$  — сокращение обозначений соответственно постоянных и переменных затрат на «плечах», включенных в кольцевой маршрут;  $E$  — параметр дисконтирования затрат;  $F_i(\sigma)$  — фактические значения рассмотренных факторов потерь;  $\Phi_i$  — функции преобразования значений  $F_i$  в значения дополнительных затрат на функционирование маршрута, их конкретный вид здесь не может быть объектом рассмотрения, т. к. зависит от специфики объектов, включенных в кольцевые перевозки. Предполагается, что  $\Phi_i[F_i=0]=0$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модели и методы теории логистики. 2-е изд. / под ред. В.С. Лукинско. — СПб.: Питер, 2007. — 448 с.
2. Транспортная логистика / под общ. ред. Л.Б. Миротина. — М.: Экзамен, 2007. — 512 с.

Проведенный анализ рассматривается нами как начальная ступень комплексного исследования условий эффективности кольцевого движения. Его продолжение в общем случае предполагает учет в используемых моделях следующих аспектов реальных транспортно-логистических процессов:

- неодинаковость уровней вариации моментов готовности фронтов разгрузки и погрузки, т. е.  $\sigma_{\text{разгр.}} \neq \sigma_{\text{погр.}}$ ;
- возможность нарушений детерминированного режима движения ТС между пунктами;
- возможность стохастической вариации продолжительности логистических процедур в пунктах маршрута, а также их направленного регулирования с целью компенсации нежелательных отклонений от графика движения;
- введение дополнительных операций в пунктах, в т. ч. переменной продолжительности [4];
- возможность взаимодействия рассматриваемого ТС с другими, работающими параллельно на данном маршруте [4];
- возможность работы со сборными транспортными партиями в режиме их текущего собирания и развоза [4].

Было бы некорректным подводить основательную черту под этим перечнем, имея в виду разнообразие материальных потоков с учетом их актуальных для рассматриваемой задачи характеристик. Следовательно, позитивное продолжение данного исследования полезно ориентировать на конкретный класс логистических объектов и соответствующую постановку оптимизационной задачи рационально ограниченной сложности.

#### Выводы

Установлен характер динамики непосредственных факторов экономических потерь, вызываемых несинхронностью движения по кольцевому маршруту транспортного средства (ТС) и функционирования обслуживаемых им локальных грузопотоков. Последние задают режимы работы фронтов погрузки и разгрузки ТС в пунктах маршрута.

Показано, что рост рассинхронизации приводит к существенному устойчивому росту четырех из шести рассматриваемых факторов потерь: простоев фронтов обоих видов, излишнего пребывания грузов в пунктах маршрута, прогрессирующего отклонения от непрерывного режима движения ТС. Кроме того, установлено, что в процессе движения ТС по маршруту и его обработки в пунктах значения растущих факторов достаточно быстро достигают своего практического предела, задаваемого принятой статистической моделью генерации несинхронности.

3. Николайчук В.Е. Транспортно-складская логистика. 3-е изд. — М.: ИНФРА-М, 2008. — 451 с.
4. Организация перевозок грузов / под ред. В.М. Семенова. — М.: Экзамен, 2007. — 299 с.

Поступила 18.10.2012 г.