

# Эффективность и перспективы развития системы FlexCargoRail

Система FlexCargoRail (FCR) повышает эффективность логистических перевозок, обеспечивает более гибкую работу пунктов погрузки за счет подачи вагонов точно в заданное время и в нужной последовательности без использования маневровых локомотивов (см. «ЖДМ», №7 и 8, 2010 г.). Тем самым усиливаются возможности логистики при перевозке повагонных отправок. Применяемые методы расчета позволяют определить допустимый максимум инвестиций на приобретение одного самоходного вагона для системы FlexCargoRail, которые не превысят соответствующих затрат традиционного подвижного состава в случае использования его для перевозки повагонных отправок.

Концепцию системы FlexCargoRail оценивают с логистической и экономической точек зрения. При этом рассматривают не только предлагаемую технологию, но и другие перспективные идеи в области перевозок повагонных отправок.

При оценке процесса перевозок повагонных отправок чаще всего подвергают критике следующие аспекты:

- большую длительность доставки;
- значительные затраты;
- отсутствие гибкости;
- низкую надежность.

Причины низкой надежности здесь не анализируются, так как они требуют более детальных исследований и проверки на реальных системах. Это потребовало бы подробного анализа процесса перевозок, выполняемых крупными компаниями-операторами, специализирующимися на повагонных отправлениях. В то же время железнодорожная система, базирующаяся на жестком графике движения поездов, предоставляет оптимальные условия для предварительной оценки длительности доставки.

Отсутствие гибкости проявляется прежде всего в привязке перевозок

повагонных отправок к системам накопления и распределения вагонов. Чаще всего подъездные пути обслуживаются только один раз в сутки для подачи вагонов и один раз для приема. Прием и накопление вагонов осуществляются, как правило, во второй половине дня, а отправка — в первой.

Таким образом, время доставки оказывается жестко установленным. Благодаря этому железная дорога может работать в условиях децентрализованной организации и планирования эксплуатационного процесса по принципу «точно в срок», когда вагоны для погрузки или перегрузки подаются в назначенное время без промежуточного складирования груза. Обязательным условием для реализации такого принципа является беспрепятственный и своевременный подвоз необходимых грузов. При этом следует отметить, что в связи с подачей порожних вагонов по расписанию требуется более продолжительное время подготовки к их отправке.

При анализе процесса перевозок следует делать различие между прибытием вагона по расписанию на подъездные пути и подачей его к

пункту погрузки по принципу «точно в срок». Если целью реализации этого принципа принять своевременную, гибкую по времени подачу вагонов к пункту погрузки, а не к точке примыкания подъездного пути, то вопрос негибкости системы отпадает. Система FlexCargoRail может еще в большей степени повысить возможности ускоренной подачи вагонов к пункту погрузки и своевременной доставки потребителю.

По сравнению с традиционными самоходными грузовыми вагонами в системе FlexCargoRail могут гибко выполнять маневры в пунктах погрузки и передвигаться по принципу «точно в срок» или «точно в нужной последовательности» между пунктом доставки груза на подъездном пути и пунктом погрузки. В результате создается больше возможностей размещения вагонов в пунктах погрузки, в частности благодаря перемещению их без маневрового локомотива.

## Затраты в системе FlexCargoRail

Динамика затрат при использовании FlexCargoRail исследовалась на основе анализа процессов во всей транспортной цепочке.

При рассмотрении отдельных этапов процесса потребовались данные о затратах времени (в том числе о времени занятости персонала и длительности использования локомотива). В заключение сделан также анализ общей продолжительности рабочего цикла вагонов, поскольку время является решающим фактором в экономии затрат.

### *Базовый сценарий традиционных перевозок повагонных грузов*

Базовый сценарий основан на фактической схеме перевозок повагонных грузов в системе узловых станций. Расчет выполняется для замкнутых оборотов вагона, т. е.

## ПОВАГОННЫЕ ОТПРАВКИ

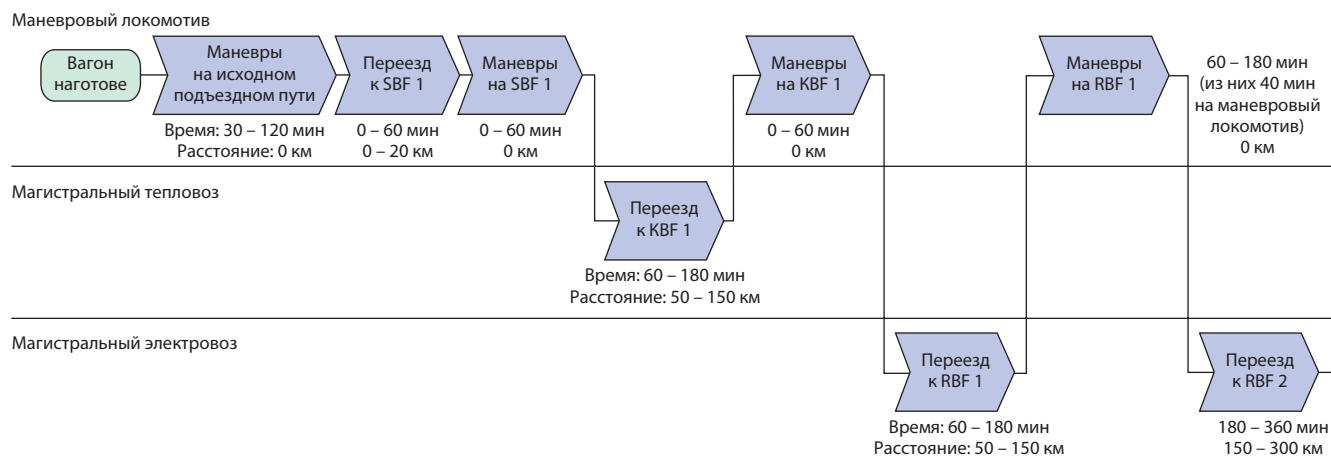


Рис. 1. Базовый сценарий SBF – попутная сортировочная станция;

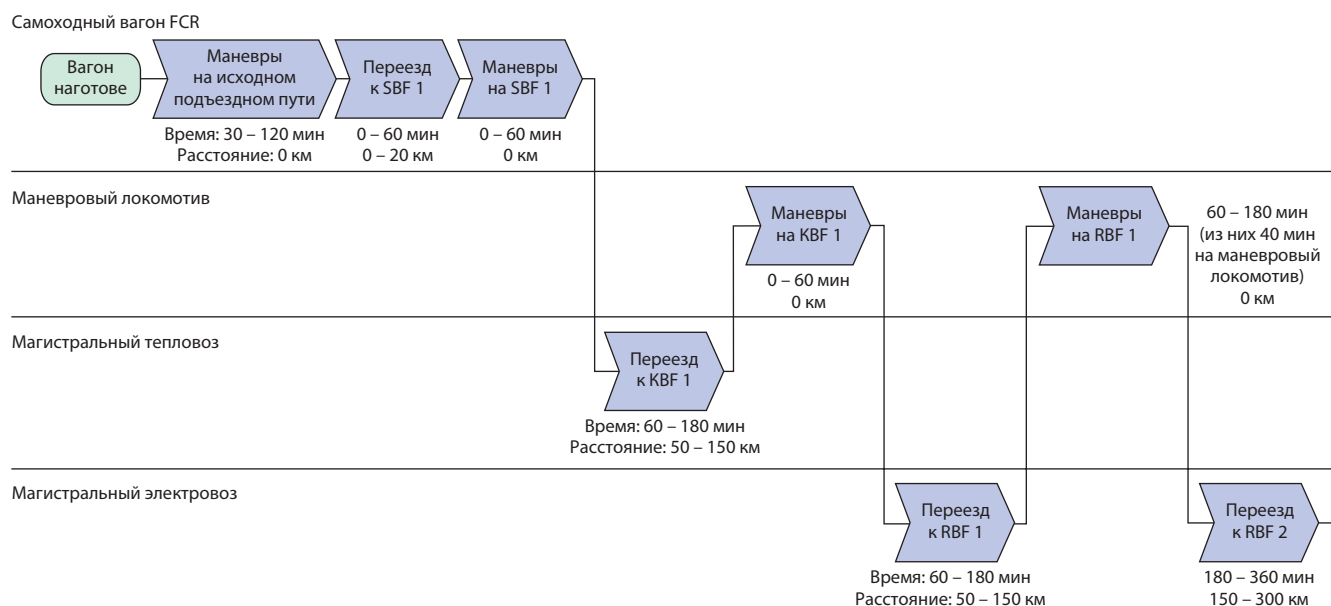


Рис. 2. Сценарий перевозок обозначения –

анализируются общие затраты на пробег вагона от места отправления А до места назначения Б и обратно

до места отправления А следующего грузевого рейса. Схема процесса приведена на рис. 1.

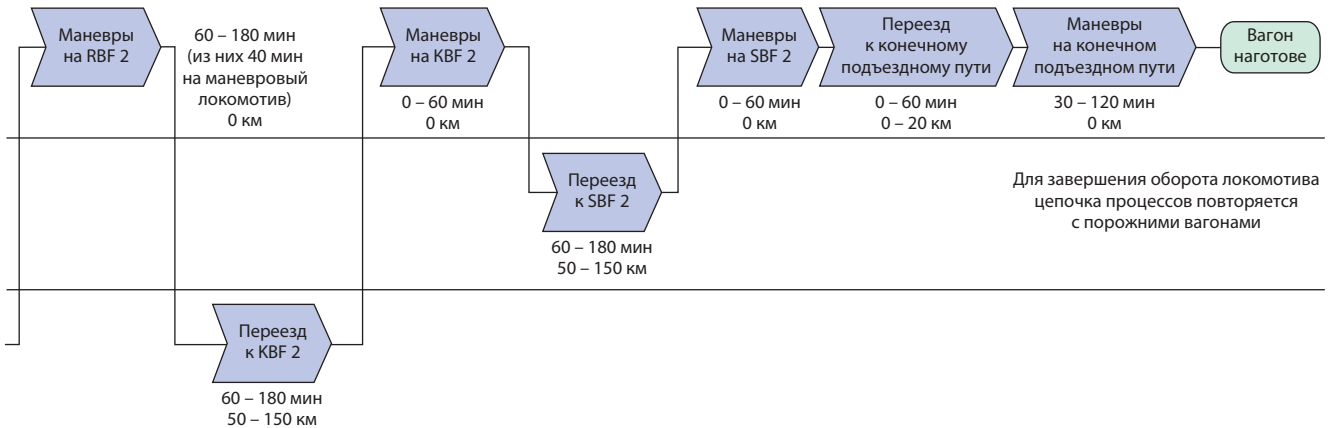
Таблица 1

Локомотивы, используемые в системе перевозки повагонных отправок

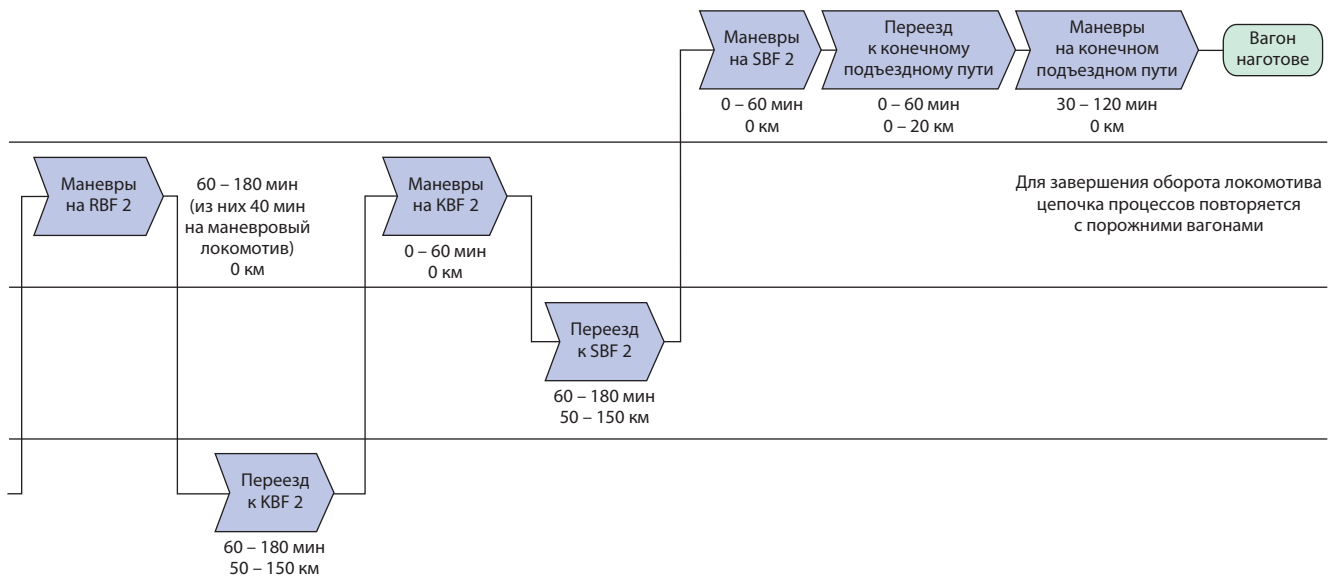
Серия локомотива	Характер работы	Продолжительность работы в течение года, ч	Удельные эксплуатационные расходы, евро		Фиксированные удельные расходы в расчете на 1 ч, евро
			на 1 ч (маневры)	на 1 км (магистральная работа)	
G 400	Маневровая	2000	29,72	—	55,55
G 1206	Маневровая и магистральная на коротких участках	4000	—	5,67	78,5
BR 145	Магистральная	—	—	3,24	103,5

Схема расчета учитывает технические ресурсы (локомотивы), используемые на отдельных этапах процесса, проходимые подвижным составом расстояния и затраты времени на каждом из этих этапов.

Фиксированные расходы на локомотивы, включающие осмотры, техническое обслуживание, ремонт и амортизацию, распределены по времени протекания процесса. За основу взято время фактического использования технических ресурсов в течение года. При рассмотрении конкретных случаев можно взять другие параметры, если



перевозок на узловых станциях:  
KBF — узловая станция; RBF — сортировочная станция



с системой FlexCargoRail:  
см. рис. 1

локомотивы используются как-то иначе.

Локомотивы используют в соответствии с нормативами, установленными на отдельных этапах процесса (табл. 1). Приведенные в таблице данные взяты из источников, предоставленных Фраунhoferовским институтом грузопотоков и логистики.

Затраты на оплату труда машинистов маневрового локомотива составляют 45 евро/ч. Расходы за пользование линией рассчитывают в зависимости от пробега в километрах в соответствии с систе-

мой тарифов компании — оператор инфраструктуры DB Netz. С учетом этих условий ориентировочные затраты составляют 1303,53 евро на один оборот вагона (пункт отправления — пункт назначения — пункт отправления).

#### Сценарий перевозок по системе FlexCargoRail

По данному сценарию на этапах маневрирования на подъездном пути, движения от подъездного пути к попутной сортировочной станции (SBF) и перемещений на этой стан-

ции маневровые локомотивы заменены на самоходные грузовые вагоны системы FlexCargoRail. При этом требуемое общее количество времени на эти операции должно оставаться таким же, как и при традиционном способе. Схема процесса приведена на рис. 2.

Поскольку пока еще не накоплена информация о дополнительных расходах, связанных с использованием самоходных грузовых вагонов вместо локомотива с обычными грузовыми вагонами, потребовался анализ издержек. Этот анализ проведен на базе допущения о ра-

Таблица 2

Возможные максимальные инвестиции, евро, на один грузовой вагон системы FCR для состава из самоходных и обычных вагонов

Число оборотов в год	Инвестиции, евро, при соотношении самоходных и обычных вагонов		
	1: 0	1: 1	1: 2
50	34747,34	69494,67	104242
75	52121	104242	156252,01
120	83393,6	166787,21	250180,81

венстве затрат для сценариев FlexCargoRail и базового с учетом ряда условий.

Снижение затрат в расчете на один оборот получается за счет экономии ресурсов (отказ от маневровых локомотивов с персоналом и уменьшенное время оборота вагонов). Это значит, что годовая экономия зависит от возможного числа оборотов. Данная экономия должна, как минимум, покрывать фиксированные расходы на самоходные вагоны FlexCargoRail, которые в расчете на модели в большинстве случаев берутся как определенный процент от капитальных затрат, и таким образом можно определить максимально возможные инвестиции, чтобы их величина в расчете на один оборот равнялась соответствующему значению, фигурирующему в базовом сценарии.

Для определения относительных фиксированных расходов за год приняты следующие значения их компонентов по отношению к капитальным затратам:

- осмотры – 1,5%;
- техническое обслуживание и ремонт – 13%;
- амортизация – 3,33% (30 лет);
- начисление 15% на половину суммы инвестиций – 7,5%.

В итоге получается величина, равная 25,33% капитальных затрат.

В принципе, значения некоторых компонентов достаточно сильно завышены, поэтому результат расчета оказывается более надежным. Так, величина 13% на техническое обслуживание и ремонт в 2 раза больше обычного для локомо-

тивов показателя. Принятие увеличенного показателя обусловлено новизной предложенной технологии и предполагаемой более высокой нагрузкой самоходного вагона в эксплуатации.

Значение максимально возможных инвестиций  $I_{max}$  получают путем деления годовой экономии на величину относительных фиксированных расходов  $k_{fix-rel}$ . Годовую экономию определяют как произведение удельной экономии за один оборот  $E_{uml}$  на число оборотов в год  $n_{uml}$ :

$$I_{max} = E_{uml} \cdot n_{uml} / k_{fix-rel} \quad (1)$$

В рассмотренной схеме использование самоходного вагона системы FlexCargoRail вместо локомотивов для выполнения маневров на подъездных путях и попутных сортировочных станциях, а также для переходов от одной сортировочной станции к другой обеспечивает экономию 176,03 евро. При этом время оборота вагона остается равным 7 сут (соответственно 50 оборотов в год).

Используя уравнение (1), получаем величину максимально возможных инвестиций:

$$I_{max} = 176,03 \cdot 50 / 25,33\% = 34747,34 \text{ евро.}$$

Если сократить время оборота, т. е. использовать вагон чаще, что вполне реально при его обращении по замкнутому циклу в системе некоторых отраслевых перевозок (например, в химической промышленности или сталеплавильном производстве), то тогда возможные ин-

вестиции могут быть выше. При 75 оборотах в год (оборот 4–5 сут) получатся максимально возможные инвестиции на уровне 52121 евро, при 120 оборотах в год (оборот 3 сут) – 83393,6 евро.

Конструкция подвижного состава в системе FlexCargoRail рассчитана на то, что самоходный грузовой вагон может выполнять маневровые работы вместе с обычными вагонами. Если учесть в расчете затрат целенаправленное формирование состава из самоходных и обычных вагонов, то максимально возможные инвестиции в расчете на один самоходный вагон будут еще больше.

В табл. 2 приведены значения  $I_{max}$  на один вагон системы FlexCargoRail в зависимости от числа оборотов в год и соотношения числа самоходных и обычных вагонов в составе.

Анализ полученных результатов показывает, что хотя возможные максимальные инвестиции зависят от соотношения числа самоходных и обычных вагонов, а также от числа оборотов, но увеличение доли обычных вагонов снижает преимущества системы FlexCargoRail перед традиционной. С этим также связано увеличение затрат на распределение подвижного состава таким образом, чтобы вагоны системы FlexCargoRail всегда были вовремя подготовлены и прибывали точно в срок к заданному пункту. Соотношение 1:2 могло бы обеспечить максимум инвестиций, но исходить следует из более рационального соотношения 1:1, чтобы полнее использовать преимущества технологии FlexCargoRail.

Поскольку до момента замены маневровых локомотивов самоходными вагонами на участке подъездной путь – попутная сортировочная станция система перевозок повагонных грузов остается традиционной, то сокращение времени оборота вагонов менее чем до 7 сут возможно лишь в исключительных случа-

ях. В связи с этим для сокращения времени оборота требуются другие подходы.

**Сценарий прямого поезда с разделением участка основного пробега**

Для сокращения времени оборота вагонов принят сценарий, в котором группы вагонов перемещаются напрямую с подъездного пути отправителя к подъездному пути получателя груза без предварительной сортировки. В этом случае маневровые работы выполняются только на подъездных путях. На коротких участках (50–150 км; 2–3 ч) используется тепловозная тяга, на магистральных линиях (250–640 км; 9–11 ч) — электрическая. Для движения на маршруте основного пробега вагонные группы соединяют с другими с последующим разделением состава (система TCS).

При исследовании рассматриваемого сценария были определены полные затраты на один оборот группы вагонов, а также найдена точка самоокупаемости (точка нулевой прибыли или предел рентабельности) для традиционных перевозок повагонных грузов в зависимости от количества вагонных групп в основном пробеге. Этот параметр показывает, сколько вагонов нужно включить в одну группу, чтобы достичь

**Минимальное число вагонов в группе для сценария прямого поезда с системой TCS**

Число вагонных групп	1	2	3	4
Минимальное число вагонов в группе	12	8	7	6

равенства затрат с перевозками повагонных грузов. В этом сценарии пока еще не присутствуют элементы системы FlexCargoRail (рис. 3).

В ходе исследования за основу было взято сокращение времени оборота вагона до 4–5 дней (75 оборотов в год). В табл. 3 указано минимально необходимое число вагонов в одной группе, позволяющее достичь равенства или даже снижения затрат по сравнению с традиционными перевозками повагонных грузов.

Число вагонов, входящих в одну группу, при котором выгодна эксплуатация поезда прямого назначения (с учетом сцепки нескольких групп на участке основного пробега), составляет 6–12 вагонов. Однако это справедливо не для всех подъездных путей. Тем не менее это уже практикуется на многих промышленных предприятиях с относительно небольшим числом вагонов в группах прямого сообщения без прицепки других групп на участке основного пробега. В результате этого возможна экономия на затратах: расстояния короче (меньше за-

висимость от локомотивов), тепловозы используются на коротких и длинных участках, а также для маневровых работ. Очень часто прямое сообщение поездов во многом зависит от технических условий промышленного производства, поэтому приходится мириться с дополнительными издержками в области железнодорожных перевозок с целью оптимизации общих процессов производства и логистики.

*Сценарий для системы FlexCargoRail применительно к прямым поездам между попутными сортировочными станциями*

По этому сценарию между попутными сортировочными станциями (SBF) курсируют поезда прямого сообщения. В зоне обслуживания SBF на последнем этапе работают не маневровые локомотивы, а подвижной состав системы FlexCargoRail (рис. 4).

По сравнению с предыдущим сценарием движение на коротких участках (от подъездного пути до

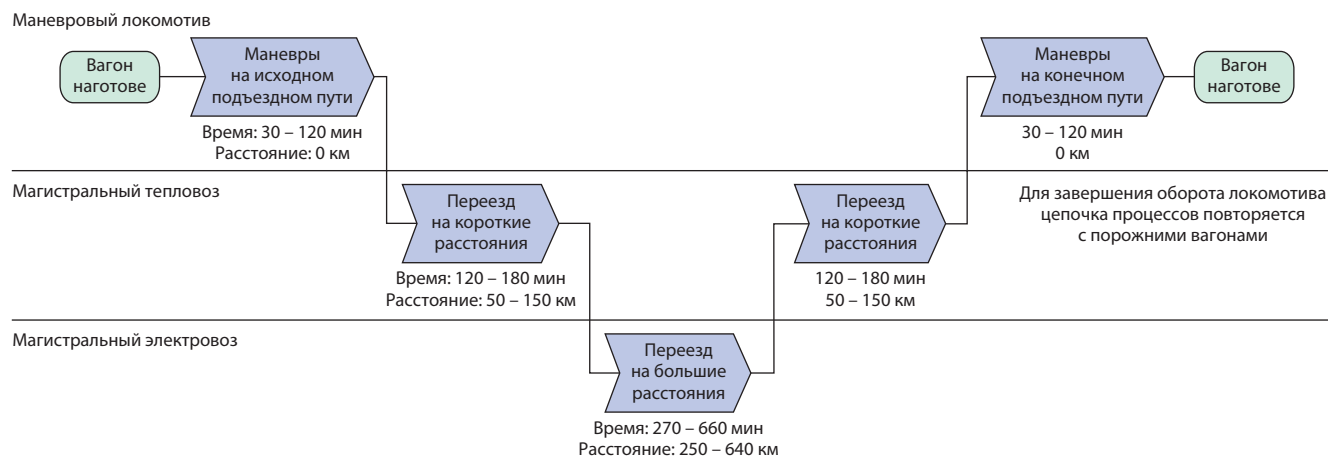


Рис. 3. Сценарий поезда прямого сообщения с разделением основного железнодорожного пробега

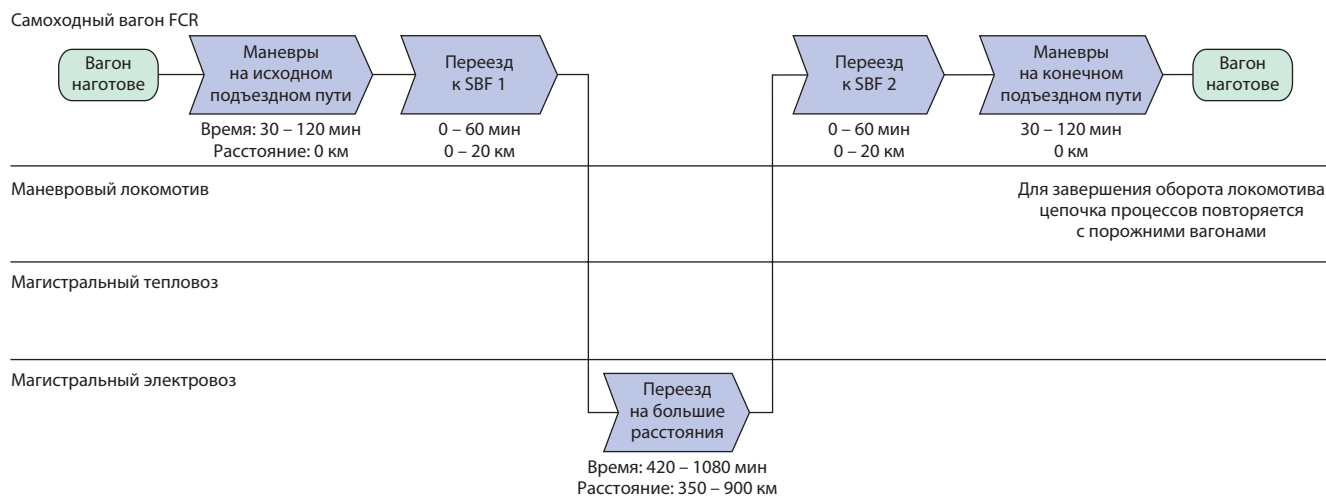


Рис. 4. Сценарий поезда прямого сообщения с использованием вагонов системы FlexCargoRail

Минимальное число вагонов в группах для сценария прямых поездов в сочетании с системой FlexCargoRail

Число вагонных групп в сообщении SBF – SBF	1	2	3	4
Минимальное число вагонов в группах	11	6	4	4

SBF) значительно сокращено, а в основном пробеге (SBF – SBF) увеличено. Это связано с тем, что подвижной состав системы FlexCargoRail в режиме работы от аккумуляторов имеет лишь небольшой запас хода и не имеет пульта управления для продолжительных поездок по магистральной линии. Как и в предыдущем сценарии, между станциями SBF также происходит разделение основного пробега.

В табл. 4 приведены значения минимального числа вагонов для рассматриваемого сценария.

Затраты на самоходные вагоны здесь не учитывались. Для их определения необходимо провести ана-

лиз затрат для разного числа вагонных групп и сравнить их с базовым сценарием.

В табл. 5 показана экономия затрат за один оборот для сценария прямых поездов с использованием самоходных вагонов по сравнению с базовым сценарием перевозки повагонных отправок.

Варьируя время оборота и учитывая число вагонных групп на участке основного пробега, получают возможные капитальные затраты на один самоходный вагон, приведенные в табл. 6–9.

Анализ данных, приведенных в табл. 6–9, показывает, что возможные инвестиции на один самоход-

Таблица 4

ный вагон системы FlexCargoRail тем выше, чем больше вагонов в одной группе.

Если вагонные группы сформировать таким образом, чтобы использовалась способность самоходных вагонов перемещать другие грузовые вагоны, не имеющие тягового привода, тогда возможные инвестиции станут еще больше. Таким образом, при соотношении 1:1 (на один самоходный вагон один обычный) возможные капитальные затраты удваиваются.

**Выводы**

Анализ подвижного состава системы FlexCargoRail и альтернативной системы поездов прямого сообщения позволяет сделать следующие выводы:

- эффективность эксплуатации подвижного состава системы Flex-

Таблица 5

Экономия затрат в расчете на один оборот для сценария прямых поездов с использованием системы FCR по сравнению с базовым сценарием

Число вагонных групп	Экономия затрат, евро, для числа вагонов в группе													
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	—	—	—	—	—	—	—	27,3	114,13	187,6	250,57	305,15	352,91	
2	—	—	63,16	206,89	314,69	398,53	465,6	520,48	566,21	604,9	638,07	666,82	691,97	
3	12,2	223,61	364,55	465,22	540,73	599,45	646,43	684,87	716,9	744,01	767,24	787,37	804,99	
4	238,24	404,45	515,25	594,39	653,75	699,92	736,85	767,07	792,25	813,56	831,82	847,65	861,5	

CargoRail зависит в первую очередь от времени оборота вагонов. Это означает, что регулярные обороты вагонов в скоростном челночном движении способствуют эффективной эксплуатации самоходного подвижного состава;

- так как подвижной состав системы FlexCargoRail также способен вести традиционные грузовые вагоны без привода, то в системах замкнутого обращения подвижного состава можно отказаться от переоснащения всего парка вагонов. Это повышает возможные инвестиционные затраты на один самоходный вагон. В зависимости от характера использования нужно определить, при каком соотношении числа самоходных и обычных вагонов можно выполнить производственные и логистические требования;

- эффективность самоходных вагонов обеспечивается непосредственно в фазе их внедрения с использованием дорогих компонентов. По мере внедрения технологии оснащения грузовых вагонов тяговым приводом в серийное производство данный подвижной состав получит широкое распространение при меньших удельных затратах на одну единицу;

- для обеспечения быстрого оборота вагона требуются новые методы организации перевозок. Поскольку в традиционных перевозках повагонных отправок тратится много времени прежде всего на перестановки вагонов и ожидание этих операций, были разработаны условия для прямого сообщения между попутными сортировочными станциями. Начиная с вагонных групп из 4–6 ед. (на маршруте подъездной путь – подъездной путь) эксплуатация становится эффективнее по сравнению с традиционными перевозками повагонных отправок;

- использование самоходных вагонов при въезде и выезде с попутных сортировочных станций может обеспечить значительную экономию затрат, если в наличии будет достаточно вагонных групп;

Таблица 6

**Возможные инвестиции, евро, на один вагон системы FCR при одной группе вагонов на участке**

Число оборотов	Число вагонов в группе			
	11	12	13	14
120	12 929,33	54 059,26	88 861,5	118 692,83
75	8 080,83	33 787,03	55 538,44	74 182,5
50	5 387,22	22 524,69	37 025,63	49 455

Таблица 7

**Возможные инвестиции, евро, на один вагон системы FCR при двух группах вагонов на участке**

Число оборотов	Число вагонов в группе			
	6	7	8	9
120	29 919,52	99 800,8	149 061,76	188 775,83
75	18 699,7	61 250,5	93 163,6	117 984,9
50	12 466,47	40 833,67	62 109,06	78 656,6

Таблица 8

**Возможные инвестиции, евро, на один вагон системы FCR при трех группах вагонов на участке**

Число оборотов	Число вагонов в группе			
	4	5	6	7
120	5 779,78	105 921,52	172 682,68	220 369,22
75	3 612,36	66 200,95	107 926,67	137 730,76
50	2 408,24	44 133,97	71 951,12	91 820,51

Таблица 9

**Возможные инвестиции, евро, на один вагон системы FCR при четырех группах вагонов на участке**

Число оборотов	Число вагонов в группе			
	4	5	6	7
120	112 852,15	191 579,41	244 064,26	281 553,43
75	70 532,59	119 737,13	152 540,16	175 970,89
50	47 021,73	79 824,76	101 693,44	117 313,93

- подвижной состав системы FlexCargoRail может легко обслуживать подъездные пути или локальные районы, для которых невыгодно содержать собственный маневровый локомотив;

- система FlexCargoRail упрощает интеграцию в грузовых железнодорожных перевозках концепции «точно в срок». Подвижной состав системы FlexCargoRail независимо от маневрового локомотива может прибывать «точно в срок» или «точно в нужной последовательно-

сти» к месту погрузки. Благодаря этому независимо от маневрового локомотива пункты погрузки освобождаются от грузов.

Концепция перевозок между попутными сортировочными станциями поездами прямого сообщения с вагонами системы FlexCargoRail, разумеется, требует дальнейшего изучения.

Возможные инвестиционные затраты на один самоходный вагон тем выше, чем меньше требуется таких вагонов для вагонной группы.

На основе этого вывода можно рассмотреть идею создания гибридных локомотивов небольшой мощности (с питанием от контактной сети, а на неэлектрифицированных участках — от аккумуляторов или от дизель-электрического агрегата) вместо моторных грузовых вагонов. Эти локомотивы можно использовать для тяги небольших вагонных групп по маршруту подъездной путь — подъездной путь либо между попутными сортировочными станциями. На участке основного пробега эти вагонные группы следуют соединенными в один состав.

Наряду с идеей соединения и последующего разделения поездов (система TCS) большой интерес также вызывает концепция поездов CargoSprinter, предназначенных для перевозки контейнеров. При их использовании в перевозках между попутными сортировочными станциями отпала бы необходимость в магистральных локомотивах, что позволило бы увеличить инвестиции в гибридный подвижной состав.

Перевозки на участке основного пробега можно дополнить, например, доставкой грузов автотранспортом в системе локальных смешанных перевозок (KLV), чтобы удовлетворить в полном объеме перевозки прямыми поездами на участках основного пробега (между попутными сортировочными станциями). Таким образом, попутные сортировочные станции одновременно могут быть доступными для смешанных перевозок, что соответствует, например, концепции портовой железной дороги компании DB Schenker, входящей в состав холдинга железных дорог Германии (DB) и специализирующейся на интегрированных логистических услугах.

Гибридные локомотивы имеют особое преимущество. Работая на электрифицированных и неэлектрифицированных сетях, они позволяют избежать повышенных затрат, необходимых на техническое обслуживание локомотивов разных

типов. Кроме того, важную роль играют убытки, связанные с содержанием неиспользуемых в полной мере локомотивов, и высокие эксплуатационные расходы, имеющие место при смене локомотивов.

Нередко на электрифицированных участках наряду с электровозами также работают тепловозы, чтобы сократить указанные затраты. Это считается нерациональным ввиду того, что операторами инфраструктуры сделаны определенные финансовые вложения в контактную сеть и устройства тягового электроснабжения, а также по экологическим причинам.

Несмотря на приведенные факты, в целом железная дорога вносит большой вклад в значительное уменьшение зависимости от нефтяных ресурсов. В настоящее время она имеет возможность осуществлять перевозки на большие расстояния на электрической тяге.

По сравнению с CargoSprinter представленная здесь концепция FlexCargoRail отличается большей гибкостью. Если CargoSprinter ориентирована исключительно на перевозку контейнеров, то FlexCargoRail — на все виды грузов. Во многих отраслях промышленности (химической, автомобильной, горнодобывающей) специализированные грузовые вагоны, отличающиеся высокой грузоподъемностью и продуманной конструкцией, облегчающей процессы погрузки и выгрузки, обеспечивают важные преимущества перед подвижным составом для контейнерных перевозок.

Стратегии модульных поездов прямого сообщения, сцепляемых для пропуска по участку основного пробега, совместно с концепцией соединения и последующего разъединения составов, позволяющей реализовать большое число прямых грузовых сообщений, требуют дальнейших исследований, в которых следует более подробно рассмотреть следующие аспекты:

- технологии и компоненты;

- стратегии пропуска соединенных составов в системах повагонных и смешанных перевозок;

- модели организации перевозок с целью интеграции большого числа компаний-перевозчиков;

- методы расчета нагрузок на сеть и концепции эксплуатационной работы;

- интеграция логистики;

- технологии перегрузочных работ и др.

В принципе, все компоненты для рассматриваемой концепции либо уже изучены, либо будут детально рассмотрены на этапе более широких исследований системы FlexCargoRail. Для дальнейшего движения в этом направлении система логистики предлагает:

- ускорение перевозок;

- повышение надежности перевозок в условиях роста загруженности сетей автомобильных дорог;

- независимость перевозок от углеводородных ресурсов;

- интеграцию концепций «точно в срок» и «точно в нужной последовательности».

Если отдельные прямые направления усилить настолько, что станет возможным ежедневный пропуск нескольких соединенных составов, то система станет еще более гибкой.

Дальнейшее исследование технологии FlexCargoRail и представленной концепции прямых поездов с гибридными локомотивами малой мощности также имеет большое значение. В связи с этим становится реальным принятие решений по инвестициям для замены большого парка маневровых и промышленных локомотивов гибридными малой мощности. Принимаемые решения нуждаются в основательном исследовании общих концепций и вытекающих отсюда технологических решений.

---

*Материалы институтов IFS и IRT Высшей технической школы RWTH в Ахене (<http://www.irt.rwth-aachen.de>); J. Kochsiek. ZEVrail, 2009, № 1/2, S. 59–66; H. Stuhr, B. Dickenbrok. Eisenbahntechnische Rundschau, 2009, № 5, S. 230–233.*