

Роль динамических резервов в построении транспортной инфраструктуры



П. А. Козлов,
д-р техн. наук,
президент
ООО «Научно-
производственный
холдинг «СТРАТЕГ»,

Производителя, транспорт и потребителя можно рассматривать как единую систему. При согласованном подводе грузопотоков структурные резервы у потребителя уменьшаются. В этом случае устойчивость работы обеспечивается адаптивностью. Сокращение необходимых резервов без потери устойчивости квалифицируется как возникновение динамических резервов.



О. В. Осокин,
д-р техн. наук,
директор ООО «Анали-
тические и управляющие
системы на транспорте
«Транспортный алго-
ритм»,

Когда речь идет о транспорте, в научных публикациях часто упоминается термин «транспортная система». В соответствии с системным подходом, предложенным в [1], под системой понимается «целостное образование с активным самоподдержанием, при этом элементы тоже являются системами». Наряду с этим утверждается, что система — это форма устойчивого и эффективного построения организованной материи.

Здесь важны два аспекта. Первый — «активное самоподдержание». Это значит, что устойчивость обеспечивается в первую очередь адаптивностью и только во вторую — фактическими резервами. Второй — «элементы — тоже системы». Значит, в системе «железнодорожный транспорт» каждую станцию также следует рассматривать как систему.

При адаптивном управлении потоками возникают так называемые «динамические резервы» [2, 3]. При взаимодействии транспорта и производства они рассматриваются с функциональной точки зрения как некоторый демпфер, способный поглощать или выдавать некоторые всплески потока. Управление потоками может замещать по функции фактические (статические) резервы.

Величина, на которую можно сократить фактические резервы без ущерба для надежности транспортного обслуживания, и будет величиной динамических резервов. Поскольку устойчивость производственно-транспортной системы обеспечивается за счет адаптивности, без привлечения фактических резервов, динамические резервы являются самыми эффективными.

Динамические резервы первого рода

Разные виды управления транспортными потоками порождают разные виды динамических резервов. Адаптивное управление однородными потоками приводит к появлению динамических резервов первого рода. Рассмотрим природу их возникновения (рис. 1).

Здесь к первому потребителю пришел всплеск грузопотока. Избыток, естественно, отправляется на резервные пути. Ко второму поступил уменьшенный поток. Недостаток восполняется из резерва. Значит, возникают два резерва.

Если поток от первого отправителя к первому потребителю перенаправить ко второму потребителю, то оба резерва не нужны. Устойчивость транспортного обслуживания не нарушается, поскольку она обеспечивается управлением. Размер суммарного сокращения фактических ре-

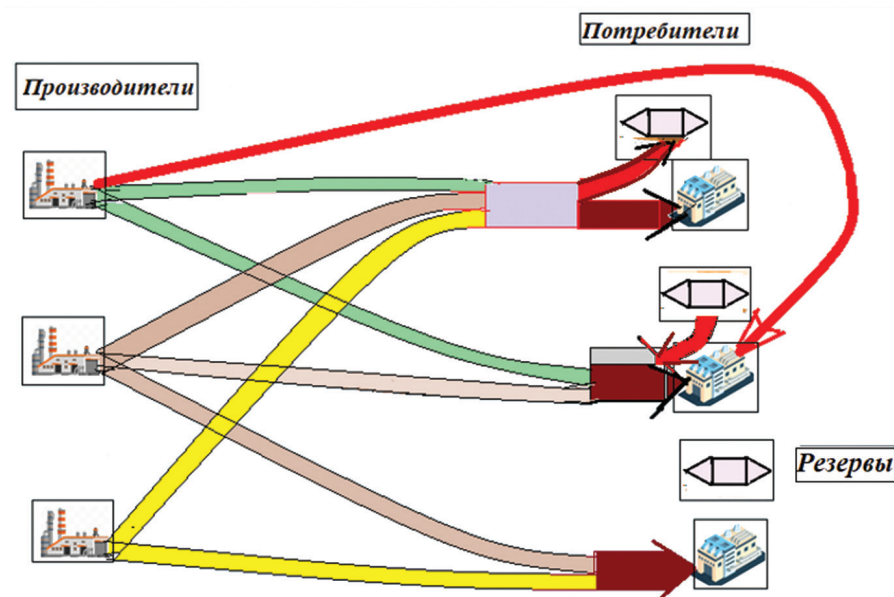


Рис. 1. Схема появления динамических резервов первого рода

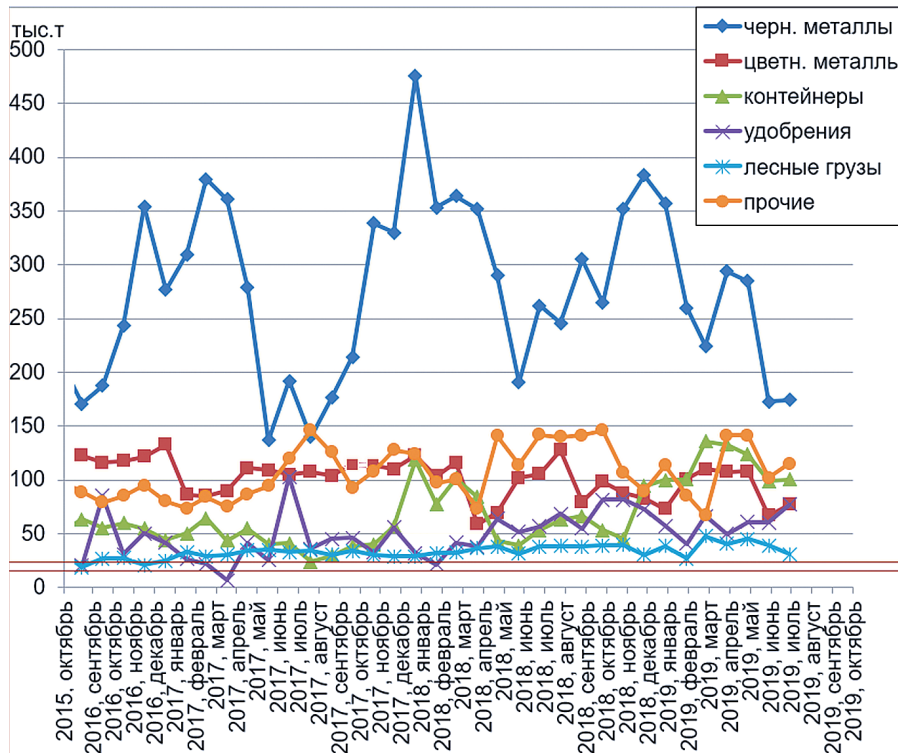


Рис. 2. Неравномерное прибытие грузов в морской порт

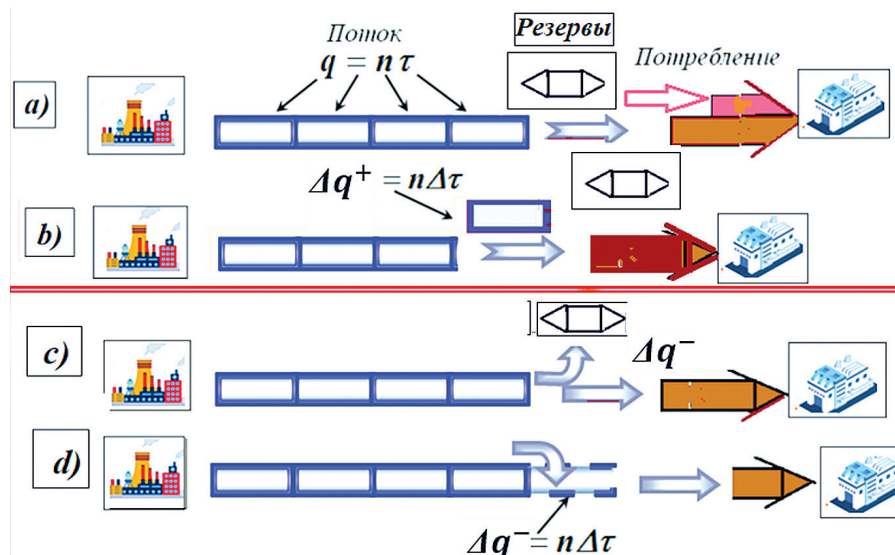


Рис. 3. Схема появления динамических резервов второго рода

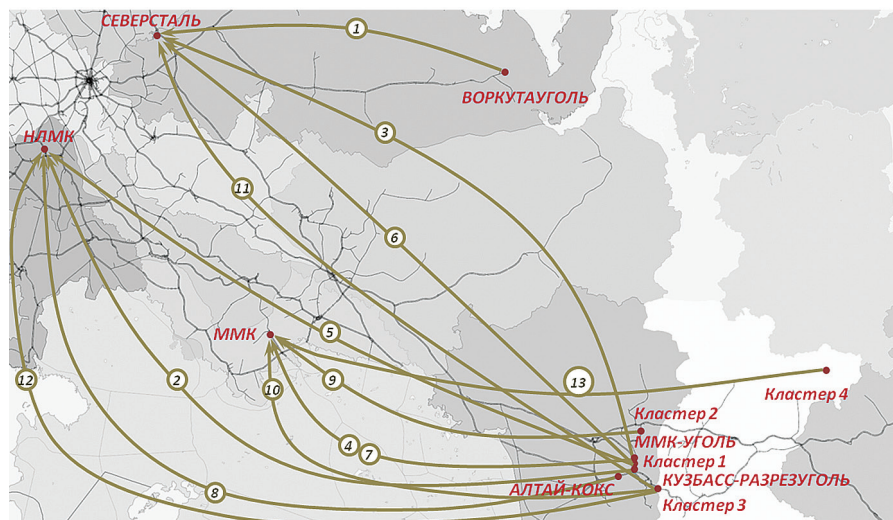


Рис. 4. Схема подвода составов с углем к металлургическим комбинатам

зернов и будет величиной динамических резервов.

В этом случае динамические резервы можно представить логическим выражением

$\forall t \mid \delta \min \mid, ((\sum_i q_i^+(t)), (\sum_i q_i^-(t)))$ при $P_{ij} \geq p^*$,
где $q_i^+(t)$ — избыток груза;
 $q_i^-(t)$ — недостаток груза;
 p_{ij} — вероятность совпадения избытков и недостатков у группы потребителей;
 p^* — заданная вероятность, при которой можно сокращать статические резервы;
 δ — коэффициент реализации;
 $\forall$ — знак «для всех».

То есть соотношение избытков и недостатков рассматривается только тогда, когда ситуация возникает с вероятностью не ниже заданной. Использование символа времени t говорит о том, что избытки и недостатки рассматриваются одновременно. Из двух сумм избытков и недостатков выбирается наименьшая. Именно на эту величину происходит взаимный обмен. Коэффициент δ учитывает меру, в которой можно реализовать замену недостатков избытками по транспортным условиям.

Динамические резервы второго рода

Эти резервы появляются при управляемом взаимодействии неоднородных потоков. При согласованном подвозе грузов иногда приходится прибегать к ускоренному пропуску поездов. В ОАО «РЖД» для этого создана технология пропуска так называемых грузовых поездов по расписанию.

Согласованный подвоз, конечно, нужен. Вот как, например, прибывают грузы к одному из северных портов (рис. 2) [4].

Для работы со всплесками потока требуются резервные пути. Однако при управляемом сочетании ускорения и замедления струй потока возникают динамические резервы второго рода (рис. 3).

Допустим, неуправляемый поток идет четыре единицы времени. В каждый отрезок в пути будет

$$q = n\Delta t \text{ вагонов,}$$

где q — число вагонов, которое пройдет через конкретный пункт;
 n — размер струи потока;
 Δt — время хода потока.

В варианте на рис. 3а недостаток пополняется из резерва. Значит, резерв путей и вагонов на них нужен.

В варианте на рис. 3б применили ускоренный пропуск. Теперь время хода

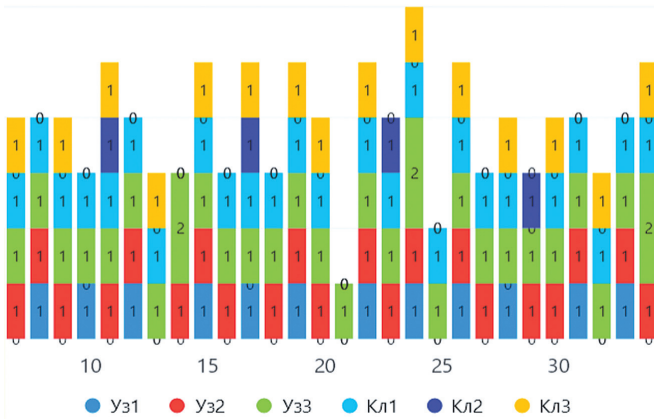


Рис. 5. Прибытие составов с углем на МК 1 при равномерном отправлении

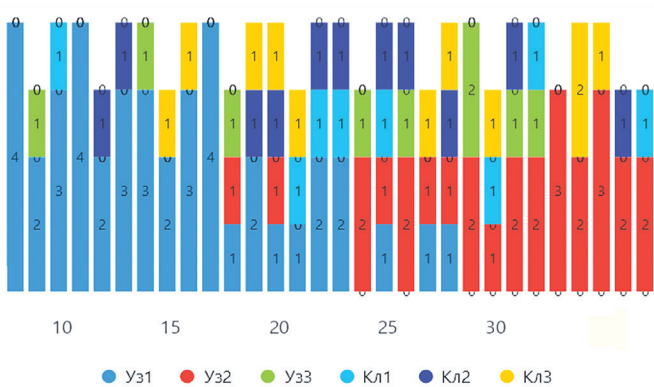


Рис. 6. Рассчитанный согласованный подвод составов с углем на МК 1

только три единицы. Куда делись $q = n\Delta t$ вагонов? Они заменили пополнение из резерва.

В варианте на рис. 3с наблюдается избыток ресурсов. Он отставлен в резерве. Резерв нужен.

В варианте на рис. 3д представлено естественное замедление потока из-за пропуска приоритетных потоков. Время хода здесь 5 суток. Поток поглотил $q = n\Delta t$ вагонов. Резерв не нужен.

Логически процесс появления динамических резервов второго рода можно выразить той же формулой, но значение переменных меняется:

$$\forall t \mid \delta \min \mid, ((\sum_i q_i^+(t)), (\sum_i q_i^-(t))) \text{ при } P_{ij} \geq P^*,$$

где $q_i^+(t)$ — число вагонов, выделенное из потока при ускорении;
 $q_i^-(t)$ — число вагонов, поглощенное потоком при замедлении.

Статические резервы сократились, они заменены динамическими резервами.

Реализация динамических резервов первого рода

При организации согласованного подвода потоков от всех отправителей ко всем потребителям возникает огромное число возможных вариантов. Для корректного решения проблемы предлагается использовать динамическую транспортную задачу [5,6]. Она формулируется следующим образом.

Пусть транспортная сеть имеет $M_{or} = f(\Psi)$ пунктов, связанных линиями $\Delta r = 2(v_{вх} + v_{об})$. Для пунктов задается $q_i(t) > 0$ погрузка или $q_i(t) < 0$ выгрузка. Для линий (p_i, p_j) определена пропускная способность $v_{ij}(t) \geq 0$ и время хода $t_{ij} \in [0, T]$.

Поток $u_{ii}(t)$ описывает динамику остатка груза у отправителя. Пусть $c_{ij}(t)$ — стоимость пропуска потока из p_i в p_j , а $c_i(t)$ — стоимость содержания остатка груза в пункте p_i .

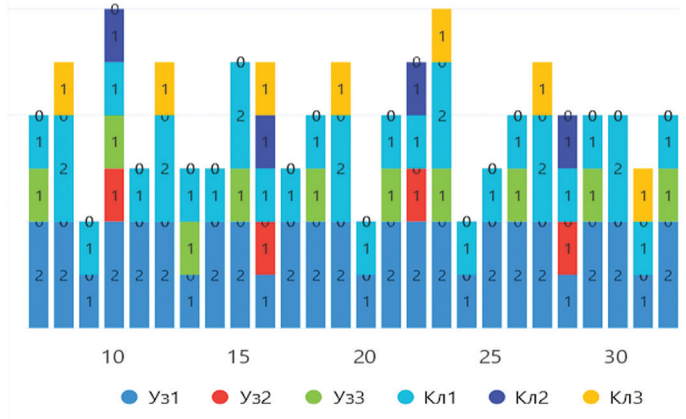


Рис. 7. Прибытие составов с углем на МК 2 при равномерном отправлении

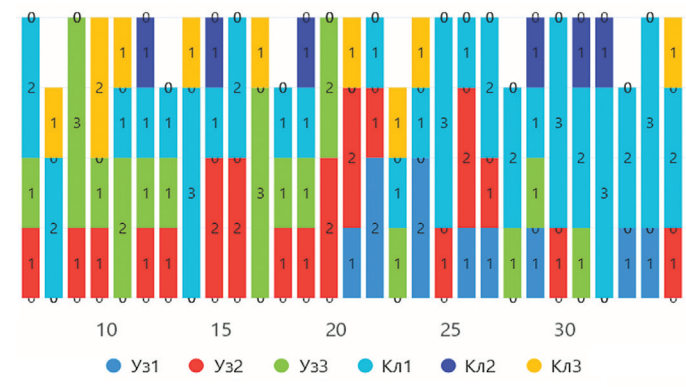


Рис. 8. Прибытие составов с углем на МК 2 при согласованном отправлении

Функционал оптимизации означает минимум затрат на пропуск потоков и хранение остатков:

$$J = \sum_{t=0}^T \sum_{p_i, p_j \in P} c_{ij}(t) \cdot u_{ij}(t)$$

при ограничениях, задаваемых балансными уравнениями.

$$u_{ii}(t+1) = u_{ii}(t) + q_i(t) + \sum_{\substack{p_j \in P \\ i \neq j}} (u_{ji}(t - t_{ji}) - u_{ij}(t))$$

$$0 \leq u_{ij}(t) \leq v_{ij}(t); \quad p_i, p_j \in P, \quad t = \overline{0, T}$$

$$0 \leq t + t_{ij} \leq T, \quad 0 \leq t - t_{ij} \leq T$$

$$u_{ii}(0) = u_{ii}^0, \quad u_{ii}(T) = 0, \quad p_i \in P$$

У отправителя балансное уравнение будет иметь вид

$$u_{ii}(t+1) = u_{ii}(t) + q_i(t) - \sum_{p_j \in P} u_{ij}(t),$$

а у потребителя

$$u_{jj}(t+1) = u_{jj}(t) + q_j(t) + \sum_{p_i \in P} u_{ij}(t - t_{ij}).$$

Задача решается с помощью процедуры размножения во времени. Реализация показана на примере подвода составов с рудой и углем к трем металлургическим комбинатам от шести отправителей (рис. 4). Исследуются ситуации, близкие к реальности. Для научного эксперимента принято одно допущение: потоки могут идти от каждого отправителя ко всем комбинатам, при этом масштаб управления увеличивается. Для удобства приняты сокращенные обозначения.

Причины неравномерности прибытия грузов к получателям разные: неравномерность отправления, колебания времени доставки, несогласованность ритмов отправления. Здесь важно рассмотреть третью причину.



Рис. 9. Схема подвода составов с рудой к металлургическим комбинатам

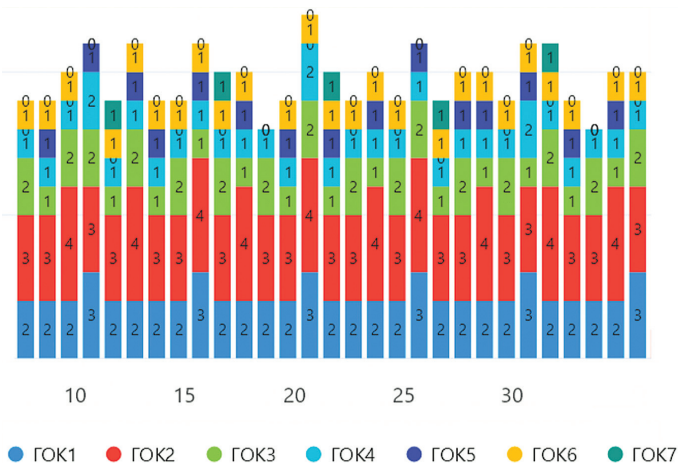


Рис. 10. Прибытие составов с рудой на МК 2 при равномерном отправлении

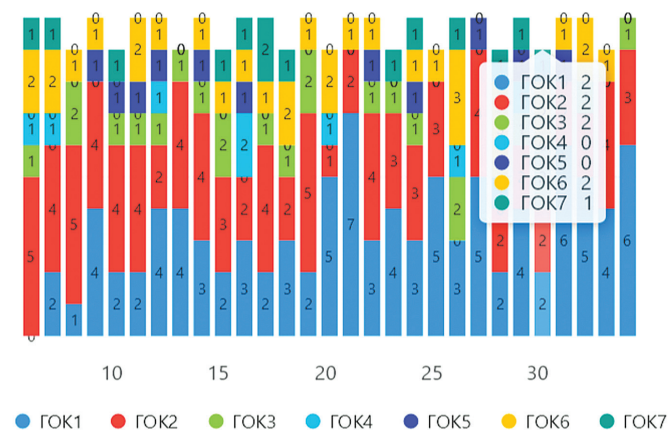


Рис. 11. Прибытие составов с рудой на МК 2 при согласованном подводе

Возьмем два варианта подвода составов с грузом. Потребление считается равномерным.

Первый. Все производители отправляют составы каждому потребителю равномерно, ожидая, по-видимому, что и прибывать составы будут равномерно. Расчет показывает, что это не так, и мы имеем прибытие неравномерное (рис. 5).

Рассмотрим ситуацию на комбинате МК 1.

Цветом показано, что отправление от каждого производителя равномерное, а прибытие неравномерное, так как ритмы у отправителей не совпадают. На всплески потока придется создавать структурные резервы.

Рассчитаем согласованный подвод с помощью динамической транспортной задачи (рис. 6).

Прибытие теперь равномерное. Колебания на один состав объясняются тем, что при делении объема на интервалы получается нецелое число, поэтому в отдельных случаях приходится ставить на один состав больше или меньше.

Это один из возможных вариантов по критерию минимума отклонения ритма прибытия от ритма потребления. Выбор можно корректировать введением дополнительных ограничений и других слагаемых со своими весовыми коэффициентами в функционале.

Прибытие равномерное, но отправление теперь неравномерное, у всех отправителей согласованное по ритму прибытия.

Возьмем комбинат МК 2. Здесь аналогичная картина (рис. 7, 8).

Похожая картина и у третьего комбината.

Рассмотрим подвод составов с рудой. Здесь потребители те же, а отправители другие (рис. 9).

Картина в общем похожая (рис. 10, 11), хотя неравномерность прибытия при равномерном отправлении несколько меньше.

Из расчетов можно сделать следующие выводы.

Адаптивное управление процессами на транспорте ведет к созданию динамических резервов. Для их расчета следует использовать динамическую транспортную задачу. Если потоки однородные (возникают динамические резервы первого рода), то аппаратом будет однострейная динамическая транспортная задача. Если потоки неоднородные (возникают динамические резервы второго рода), то многострейная.

При расчете емкости парков на станции необходимо учитывать, что резервы путей при адаптивном управлении могут быть значительно меньше.

Необходимо как можно больше развивать адаптивные формы технологии. Это повысит эффективность работы, так как устойчивость транспортных систем в меняющейся обстановке будут обеспечивать в первую очередь динамические резервы.

Источники

1. Козлов П. А. Системные исследования — новый подход // Наука и техника транспорта. 2014. № 1. С. 46–50.
2. Владимирская И. П., Козлов П. А. Взаимодействие потока и элементов транспортной структуры // Науч. вестн. МГТУ ГА. 2009. С. 26–34.
3. Осокин О. В., Тушин Н. А., Козлов П. А. Организационные подходы и модели оптимизации // Мир транспорта. 2011. Т. 9, № 5 (38). С. 18–23.
4. Козлов П. А., Владимирская И. П. Методы оптимизации взаимодействия железнодорожного и морского транспорта // Транспорт РФ. 2009. № 1 (20). С. 53–55.
5. Миловидов С. П., Козлов П. А. Оптимизация структуры транспортных потоков в динамике при приоритете потребителей // Экономика и математические методы. 1982. Т. XVIII, вып. 3. С. 521–531.
6. Владимирская И. П., Козлов П. А. Оптимизация взаимодействия поставщиков и потребителей при случайном разбросе в потреблении и времени доставки // Вестн. РГУПС. 2009. № 2 (34). С. 66–70.