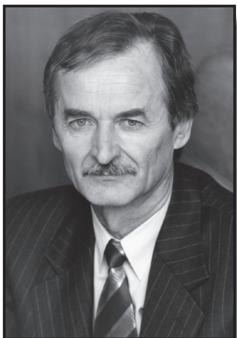
УДК 621.86.067:656

Поток и бункер-канал в транспортной системе



Петр КОЗЛОВ

Peter A. KOZLOV

Козлов Петр Алексеевич – доктор технических наук, профессор, директор ЗАО «Аналитические и управляющие системы на транспорте», Москва, Россия.

На абстрактном уровне оцениваются закономерности взаимодействия потока и элементов структуры транспортной системы. Укрупненными элементами выступают канал (переработка потока) и бункер (погашение и порождение всплесков потока). Показано, что бункер преобразовывает поток из случайного в частично управляемый, тем самым повышая уровень возможной загрузки канала. В качестве ограничивающего элемента, подчеркивается автором, необходимо рассматривать не канал, как это обычно делается, а составной элемент «бункер-канал».

Ключевые слова: транспортная система, поток, канал, бункер, взаимодействие, дезорганизация.

Эта проблема уже рассматривалась в определенной мере в более ранних журнальных публикациях [1,2]. Здесь предлагается дальнейшее развитие предложенных подходов.

1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОТОКА И КАНАЛА

Любое устройство, перерабатывающее поток, можно представить в виде некоторого канала. Если отвлечься от конкретного вида переработки, то и горка, и грузовой фронт являются каналами. Главное тут – сопоставить величину потока и пропускную способность канала.

Поток тогда имеет два параметра:

$u_{ср}$ – средняя величина потока;

ρ_n – дезорганизация потока.

При рассмотрении взаимодействия потока с каналом в абстрактном смысле параметр ρ_n отображает случайные колебания величины потока, что приводит к необходимости иметь в канале резерв пропускной способности (рис. 1). То есть

$$\rho_n = \alpha \nu_n . \qquad (1)$$

где ν_n – коэффициент вариации колебаний величины потока,

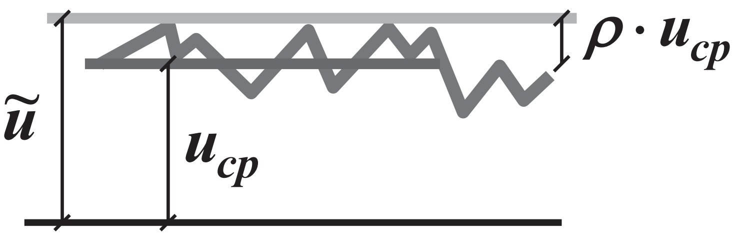


Рис. 1. Соотношение средней и расчетной величины потока.

Pic.1. Ratio of the average and estimated flow.

α – некоторый коэффициент;

$$\tilde{u} = u_{cp} + \rho \cdot u_{cp} = u_{cp}(1+\rho)\ , \qquad (2)$$

где $\tilde{u}$ – расчетная величина потока.

Выражаясь терминами теории организации, можно сказать, что поток имеет некоторый «*шум*». И это надо учитывать.

Но некоторый собственный «шум», *дезорганизацию* имеет и канал. Вследствие случайных колебаний времени обработки единицы потока канал как бы получает случайные колебания пропускной способности (рис. 2).

Допустим, мы рассматриваем работу горки. Состав может иметь три отцепа, а может – 20. Да ещё вагоны, которые нельзя распускать с горки. Время роспуска станет колебаться. По отношению к горке это будут в общем случае случайные колебания. Для того чтобы обеспечить среднюю пропускную способность U_{cp}, каналу нужно иметь резерв.

Если обозначить по аналогии с потоком дезорганизацию канала $\rho_к$, то расчетная пропускная способность составит

$$\tilde{U} = U_{cp} + \rho_к U_{cp} = U_{cp}(1+\rho_к). \qquad (3)$$

Определим количественные параметры взаимодействия потока и канала. Итак, если расчетный поток равен средней пропускной способности канала, то расчетная пропускная способность должна быть:

$$\tilde{U} = \tilde{u}(1+\rho_к)\ , \qquad (4)$$

Но $\tilde{u} = u_{cp}(1+\rho_п)$.

Тогда $\tilde{U} = u_{cp}(1+\rho_п)(1+\rho_к)$

или $\tilde{U} = u_{cp}(1+\rho_п+\rho_к+\rho_п \cdot \rho_к)$. (5)

Так как эта формула носит логический, а не расчетный характер, можно пренебречь слагаемым $(\rho_п \cdot \rho_к)$. Во-первых, его величина незначительная, ибо и $\rho_п < 1$, и $\rho_к < 1$, значит, $\rho_п \cdot \rho_к << 1$. А во-вторых, это внесет логическую ясность.

Тогда получится

$$\tilde{U} = u_{cp}(1+\rho_п+\rho_к)\ . \qquad (6)$$

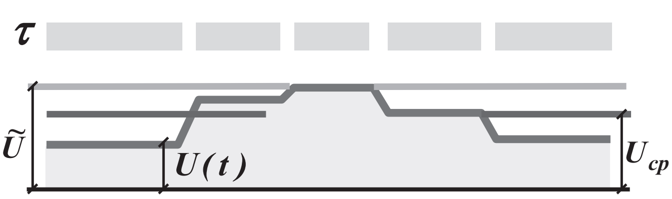
Таким образом, канал должен иметь двойной резерв – на дезорганизацию канала и на дезорганизацию потока. Свободный резерв пропускной способности канала ΔU будет

$$\Delta U = U - \tilde{U}\ . \qquad (7)$$

Коэффициент возможного полезного использования канала γ можно определить как

$$\gamma = \frac{u_{cp}}{U}\ . \qquad (8)$$

Если канал загружен полностью: $\tilde{U} = U$ и $\Delta U = 0$ (что чаще всего и бывает), то справедливо соотношение



τ - *время обработки единицы потока*

$\tilde{U}$ - *расчетная пропускная способность канала*

U_{cp} - *средняя пропускная способность канала*

Рис. 2. Дезорганизация в канале.

Pic.2. Disorganization in the channel.

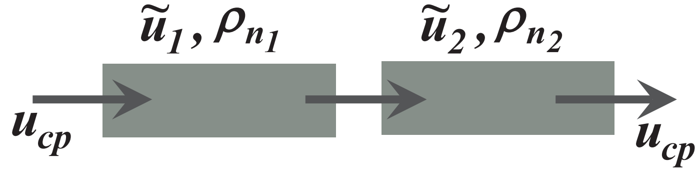


Рис. 3. Схема взаимодействия каналов.

Pic.3. Interaction of channels.

$$\gamma = \frac{u_{cp}}{u_{cp}(1+\rho_n+\rho_к)};$$

$$\gamma = \frac{1}{1+\rho_n+\rho_к}. \qquad (9)$$

Если $U > \tilde{U}$, то $\gamma = \frac{u_{cp}}{U}$. (10)

2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАНАЛ-КАНАЛ

Средний поток, проходящий через каналы, один и тот же (рис. 3). Тогда можно записать соотношения $\tilde{u}_1 = u_{cp}(1+\rho_{n1})$; $\tilde{u}_2 = u_{cp}(1+\rho_{n2})$.

Пусть каналы не имеют дезорганизации, то есть $\rho_{к1}=0, \rho_{к2}=0$, тогда $\tilde{u}_i = \tilde{U}_i$.

$$\tilde{U}_1 = u_{cp}(1+\rho_{n1});$$

$$\tilde{U}_2 = u_{cp}(1+\rho_{n2}). \qquad (11)$$

Преобразуем

$$u_{cp} == \frac{\tilde{U}_1}{1+\rho_{n1}};$$

$$u_{cp} == \frac{\tilde{U}_2}{1+\rho_{n2}}. \qquad (12)$$

Отсюда

$$\frac{\tilde{U}_1}{1+\rho_{n1}} = \frac{\tilde{U}_2}{1+\rho_{n2}}. \qquad (13)$$

То есть можно сделать вывод, что правильное взаимодействие каналов будет при

$$\forall i \left| \frac{\tilde{U}_i}{1+\rho_{ni}} = const \right. . \qquad (14)$$

В цепочке взаимодействия канал должен иметь тем больше резерв, чем более дезорганизованный поток ему приходится обслуживать. Но в соответствии с теорией дезорганизация сама по себе только возрастает. Исследования транспортных процессов подтверждают второй закон термодинамики. В общем случае при прохождении канала дезорганизация потока возрастает. То есть $\rho_{n2}>\rho$. (15)

И значит

$$\tilde{U}_2 > U_1. \qquad (16)$$

Каждый последующий канал должен иметь больший резерв, связанный с дезорганизацией потока.

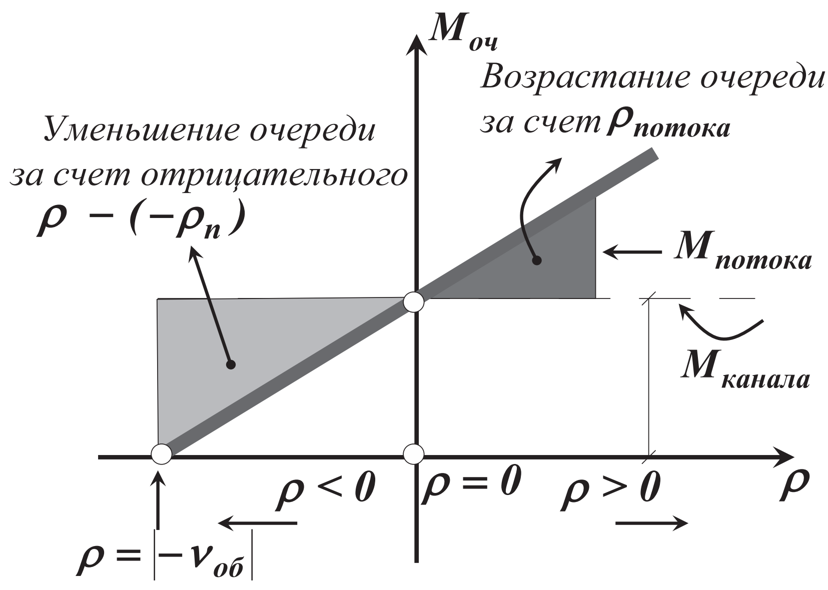


Рис. 4. Преобразование потока бункером.

Pic. 4. Conversion of the flow by the bunker.

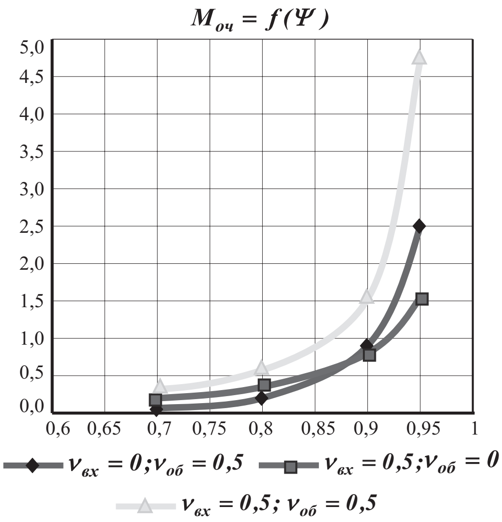


Рис. 5. Составные части очереди в бункере.

Pic. 5. Components of the queue in the bunker.

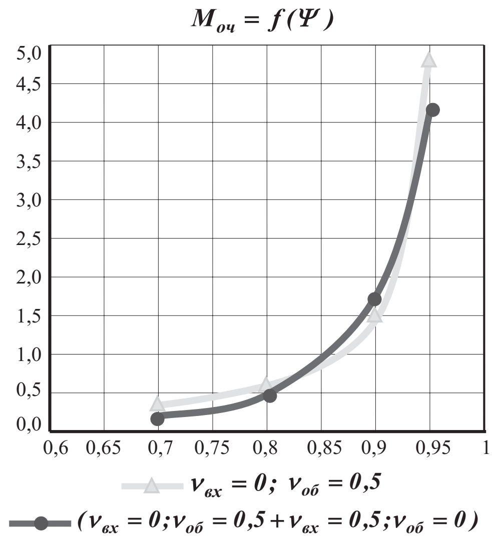


Рис. 6. Сопоставление общей очереди и суммы двух индивидуальных.

Pic.6. Comparison of general queue and the sum of two individual ones.

Отсюда следует важный вывод. Распространенная точка зрения, что во взаимодействующей цепочке каналов «узким местом» будет канал с наименьшей пропускной способностью, в общем случае не верна. Необходимо учитывать, с какой дезорганизацией подходит к каналу поток. При одинаковой собственной дезорганизации ограничивающим будет канал по условию

$$\min_{i} \frac{\tilde{U}_i}{1+\rho_{ni}} . \qquad (17)$$

3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОТОК – БУНКЕР – КАНАЛ

Если в канал с собственным «шумом» поступает поток с заметными случайными колебаниями, то коэффициент полезного использования этого канала будет чрезвычайно низким. Поэтому перед каналом, как правило, возникает бункер (резервные пути есть и перед горкой, и перед грузовым фронтом). Следует подчеркнуть, что бункер – это только *резервные пути*. Скажем, в предгорочном парке есть и функциональные пути, те – на которых происходит обработка состава по прибытии. Функциональный путь – это канал со своей пропускной способностью и дезорганизацией $\rho_к$.

Бункер возникает как необходимое дополнение к каналу. Его задача – повысить *коэффициент возможной загрузки канала* γ. Как он это делает? Путем *понижения дезорганизации потока* $\rho_п$, сначала до нуля (до равномерного потока), а затем до отрицательной величины (до управляемого потока) (рис.4). При этом в бункере, естественно, возникает очередь единиц потока. Общая очередь четко распадается на две части – очередь из-за дезорганизации канала и очередь из-за дезорганизации потока (рис.5). Эти зависимости получены на имитационной модели.

Здесь одной линией показана динамика очереди при увеличении загрузки канала ψ, когда поток равномерный $\nu_п = 0$, а коэффициент корреляции обслуживания $\nu_{об} = 0,5$. То есть динамика очереди, создаваемой дезорганизацией канала. Другая линия – динамика очереди, создаваемой дезорганизацией потока ($\nu_п = 0,5$) при равномерном обслуживании ($\nu_{об} = 0$).

Рядом с ними изображена суммарная очередь, когда поток со случайным разбросом ($\nu_п = 0,5$) поступает в канал с «шумом» ($\nu_к = 0,5$). На рис.6 показано сопоставление общей очереди из рис.5 и суммы двух индивидуальных. Суммарная очередь получена сложением очередей, изображенных на рис.5. Как можно увидеть, две

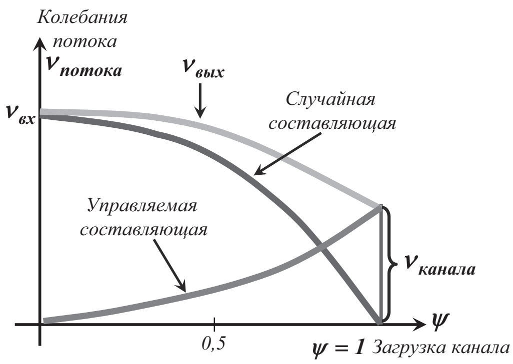


Рис. 7. Изменение характера потока после выхода из бункера.

Pic.7. Change of the flow after an output from the bunker.

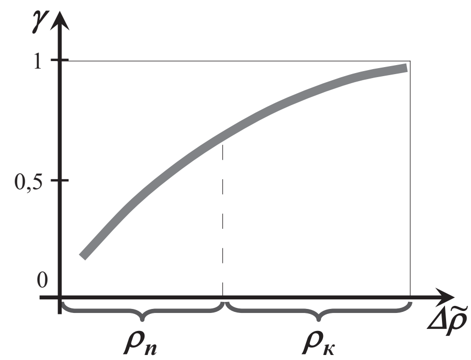


Рис. 8. Повышение коэффициента возможной полезной загрузки канала при увеличении ёмкости бункера.

Fig. 8. Increase in the coefficient of possible channel load channel while increasing the bunker capacity.

кривые практически совпадают. Эксперимент наглядно подтверждает, что очередь в канале распадается на две:

$$M = M(\rho_n) + M(\rho_к), \qquad (18)$$

где M – общая очередь в бункере (математическое ожидание),

$M(\rho_n)$ – очередь, создаваемая дезорганизацией потока,

$M(\rho_к)$ – очередь, создаваемая дезорганизацией канала.

И в исследованиях это необходимо учитывать.

Итак, бункер позволяет повысить *возможную* загрузку канала за счет того, что в потоке, поступающем в канал, уменьшается случайная составляющая и увеличивается управляемая (рис. 7). Загрузка канала полностью возможна только, если в канал из бункера поступает полностью управляемый поток.

Если рассматривать процессы в бункере с системных позиций, то в нем происходит активное воздействие $\Delta\tilde{\rho}$, которое вначале *понижает дезорганизацию* потока, а затем придает ему *организованную форму.*

Здесь возможны три граничных случая.

1) Поток случайный. Емкость бункера равна нулю.

$\rho_n > 0;\ \Delta\tilde{\rho} = 0$;
$\rho_n^к = \rho_n - \Delta\tilde{\rho} = \rho_n$,
$M(\rho_n) > 0$,

где $\rho_n^к$ – параметр потока, выходящий из бункера в канал.

2) Бункер превращает случайный поток в равномерный.

$\rho_n > 0;\ \Delta\tilde{\rho} = \rho_n$;
$\rho_n^к = \rho_n - \Delta\tilde{\rho} = 0$,
$M(\rho_n) = 0$

3) Бункер превращает поток в полностью управляемый

$\rho_n > 0;\ \Delta\tilde{\rho} = \rho_n + \rho_к$;
$\left|-\rho_n^к\right| = \left|\rho_n - \Delta\tilde{\rho}\right| = \rho_к$.

Отрицательное значение $\rho_n^к$ означает, что поток управляемый. А $\left|-\rho_n^к\right| = \rho_к$ – что он управляемый полностью. Ритм входящего в канал потока полностью соответствует ритму работы канала. Поэтому его можно загрузить целиком. Это и изображено на рис. 4.

При $\rho_n = 0$ (на рисунке $\rho = 0$) существует очередь только из-за дезорганизации канала (M канала). Если $\rho > 0$, то возникает дополнительная очередь из-за потока (M потока). А когда ρ_n уходит в отрицательную область ($\rho < 0$), то очередь постепенно уменьшается до нуля при $\rho = \left|-\rho_к\right|$ (на рисунке выражение $\rho \equiv \left|-\nu_{об}\right|$ говорит о соответствии ритма входящего в канал потока ритму обслуживания).

Таким образом, бункер повышает возможный уровень возможной загрузки канала. Чем больше ёмкость бункера, тем больше его возможность $\Delta\tilde{\rho}$ преобразовать поток и тем более полно можно использо-

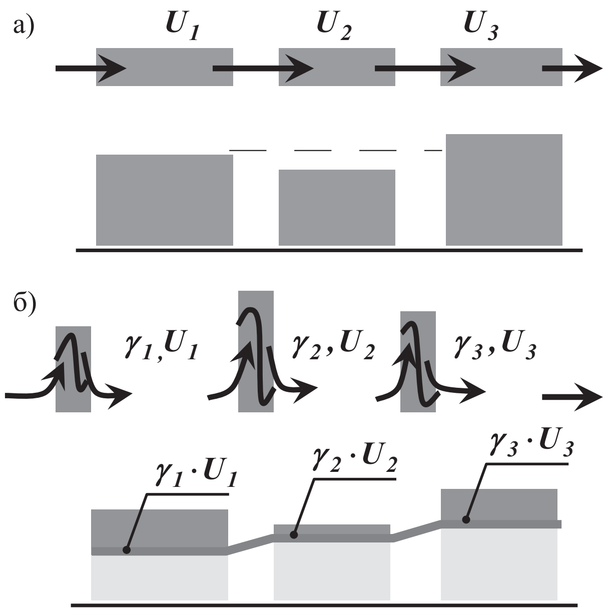


Рис. 9. Определение ограничивающего функционального элемента.

Pic.9. Determination of a bound element.

вать канал (рис.8). И коэффициент возможной загрузки будет

$$\gamma = \frac{1}{1+\rho_п+\rho_к-\Delta\tilde{\rho}}, \quad (19)$$

где $\Delta\tilde{\rho}$ – активное действие бункера (резервных путей) по понижению дезорганизации.

4. «УЗКОЕ МЕСТО» И ОГРАНИЧИВАЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ

С помощью имитационной модели можно определить величину задержек, возникающих из-за занятости структурного элемента. Принято считать «узким местом» элемент, вызывающий наибольшие задержки. Элемент этот – обычно канал. И естественно, возникает вывод, что этот канал следует «расширять».

В свете изложенного выше следует рассматривать в качестве минимального *функционального* элемента *канал вместе с его бункером*. Дело в том, что канал может быть дорогой. Целый комплекс дорогостоящих работ необходимо выполнить, чтобы увеличить перерабатывающую способность горки. Может, лучше добавить резервные пути в предгорочном парке и повысить уровень возможной загрузки горки и тем самым повысить её фактическую производительность. Да, при повышении уровня загрузки модель покажет увеличение задержек. Но они относятся на собственный бункер. И по приведенным затратам и были выбраны рациональные согласованные параметры канала и бункера. И вместе они обеспечивают переработку потока.

А вот если возникают задержки из-за переполнения бункера, тогда этот функциональный элемент является ограничивающим. То есть при коэффициенте возможного полезного использования канала, который может обеспечить бункер, поток не может быть переработан. И задержки из-за бункера относятся уже на другой функциональный элемент.

Здесь хотелось бы вернуться к известной проблеме – какой элемент в цепочке каналов является ограничивающим. Основной ошибкой было рассматривать каналы без сопровождающих их бункеров (рис. 9, а). В этом случае ограничивающим нужно считать второй канал, поскольку он имеет наименьшую максимальную пропускную способность (так, как её рассчитывают в инструкциях – при равномерном потоке и равномерном обслуживании). Но если включить в цепочку бункера, картина может быть иной (рис. 9, б). Перед вторым каналом есть большой бункер, и поэтому коэффициент γ_2 – самый большой. Если сравнить теперь каналы по фактической пропускной способности и критерию $\gamma \cdot U$, то ограничивающим элементом оказывается первый канал.

Итак, ограничивающий элемент следует определять не по критерию $\min_i U_i$, а по критерию $\min_i \gamma_i U_i$.

Рассмотрение с теоретических позиций проблемы взаимодействия потока с каналом и бункером как абстрактными объектами, выражающими сущность основных транспортных устройств, поможет корректно выбирать расчетные и оптимизирующие модели на транспорте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов П. А., Владимирская И. П. Взаимодействие потока и элементов транспортной структуры // Научный вестник МГТУ ГА. – М., 2009. – С.15–17.

2. Козлов П. А., Владимирская И. П., Осокин О. В. Закономерности структурного взаимодействия в транспортных системах // Транспорт Урала. – Екатеринбург, 2010. – № 3 (26). – С. 25–28.

FLOW AND BUNKER-CHANNEL IN THE TRANSPORT SYSTEM

Kozlov, Peter A. *– D. Sc. (Tech.), professor, director of JSC «Analytical and Control Systems in Transport», Moscow, Russia.*

ABSTRACT

At an abstract level, the author estimates regularities of interaction between flow and structural elements of the transport system. Preassembled elements are channel (flow processing) and bunker (extinguishing and generating bursts of flow). It is shown that bunker converts a flow from random to partially controlled, thereby increasing the level of possible channel load. The author highlights the necessity to consider as a bound element not a channel, as it is usually done, but «bunker-channel».

ENGLISH SUMMARY

Background. *This issue has already been discussed to some extent in earlier journal publications [1,2]. In this article the author offers the further development of the proposed approaches.*

Objective. *The aim is to demonstrate different aspects of flow- channel interaction and to justify the necessity to use the parameter «flow- bunker-channel interaction».*

Method. *The author applies mathematical approach in justification of his position.*

Results. 1. Interaction of flow and channel

Any device processing flow can be represented as a channel. If the specific type of processing is ignored, then hump and cargo front are also channels. The main thing is to compare flow size and channel capacity.

Flow then has two options:

u_{cp} *– average flow size;*

ρ_n *- disorganization of flow.*

When considering the interaction of flow and channel in the abstract sense, parameter ρ_n *displays random fluctuations in the flow size, which leads to the need to have in a channel a reserve of channel capacity (Pic. 1). Here there is formula (1), where* ν_n *-variation coefficient of flow size fluctuations and* α *-some coefficient, and formula (2), where* $\tilde{u}$ *- the estimated flow size.*

In terms of organization theory, a flow has a «noise». And this must be taken into account.

But channel also has some own «noise» and disorganization. Due to random fluctuations of processing time for one flow unit, channel somewhat receives random fluctuations of capacity (Pic. 2).

The author provides an example of calculation. It is supposed, that the work of hump is considered. The hump can have 3 or maybe 20 cuts and there are cars, which cannot be dissolved from this hump. The dissolution time becomes to fluctuate. With respect to the hump there will generally be random fluctuations. In order to provide average capacity U_{cp} *, the channel must have a reserve. If, by analogy with the flow, channel disorganization is defined as* ρ_κ *, the estimated capacity will be calculated with formula (3).*

Quantitive parameters of interaction of flow and channel are determined by the author with formulas (4) – (6).

Thus, the channel must have dual reserve – for channel disorganization and for flow disorganization. Free reserve of capacity ΔU *will be determined by formula (7).*

Coefficient of potential channel utilization efficiency γ *can be defined as (8).*

If the channel is fully loaded: $\tilde{\mathrm{U}} = \mathrm{U}$ *and* $\Delta \mathrm{U} = 0$ *(which often happens), then the relation (9) is applied. If* $\mathrm{U} > \tilde{\mathrm{U}}$ *, then (10) is taken.*

2. Interaction channel-channel

Average flow, going through the channels, is the same (Pic. 3). Then there are relations $\tilde{u}_1 = u_{cp}(1+\rho_{n1})$ *and* $\tilde{u}_2 = u_{cp}(1+\rho_{n2})$ *. Here the author assumes that channels do not have disorganization, i. e.* $\rho_{\kappa 1} = 0, \rho_{\kappa 2} = 0$ *, then* $\tilde{u}_i = \tilde{\mathrm{U}}_i$ *.*

After calculations, made in (11) – (13), the author comes to the conclusion that proper interaction of channels will be (14).

In the chain of interaction, the more disorganized is the flow, which should be served by the channel, the greater reserve then should this channel have. But in accordance with the theory, disorganization itself only increases. Study of transport processes confirms the second law of thermodynamics. In general, when the flow passes, its disorganization increases. See (15) – (16).

Each subsequent channel should have a larger reserve associated with disorganization of the flow.

Here the author comes to another important conclusion. Widespread view that in an interacting chain of channels «bottleneck» will be the channel with the lowest capacity in general is not true. It is necessary to take into account, what kind of disorganization has the flow, approaching the channel. At the same own disorganization, the channel will be limiting by assumption (17).

3. Interaction flow-bunker-channel

If in the channel with its own «noise» comes the flow with visible random fluctuations, capacity utilization of this channel will be extremely low. Therefore, a bunker usually appears in front of the channel. It should be emphasized that the bunker is just reserve tracks. Functional track is the channel with its own capacity and disorganization ρ_κ *.*