

**Тема: ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

***4. Производительность средств перемещения сыпучих грузов***

*Вопросы для рассмотрения:*

1. Расчетная производительность непрерывного одиночного грузопотока. Коэффициент неравномерности.
2. Неравномерность сходящихся грузопотоков
3. Емкость бункера.
4. Эксплуатационная производительность и ее резервы.

**Раздаточный материал:**

1. График непрерывного неравномерного потока груза и изменений его производительности.
2. Графики изменения производительности транспортных средств периодического действия.
3. Графики производительности одиночных и суммарного потоков.

**4.4. Расчетная производительность непрерывного одиночного грузопотока. Коэффициент неравномерности.**

Производительностью расчетного грузопотока (расчетный грузопоток) называют такое значение  $Q_p$ , на которое ведется расчет (выбор) транспортного средства.

Характерная особенность подавляющего большинства грузопотоков горных предприятий – их неравномерность: разное количество груза транспортируется в одинаковые промежутки времени. Выше (рис. 4.1) показаны три возможных вида грузопотоков, поступающих и транспортирующихся транспортными средствами, из которых средняя производительность только равномерного может быть принята в качестве расчетной при выборе транспортного средства непрерывного действия. В остальных двух случаях определение  $Q_p$  для средств непрерывного действия требует учета неравномерности. Последнюю принято характеризовать коэффициентом неравномерности  $k$ .

Существует два метода определения  $Q_p$  для грузопотоков, поступающих на средство непрерывного действия: по коэффициенту неравномерности  $k$  и по теоретической производительности забойных машин. В последнем случае за  $Q_p$  принимают максимальную в данных условиях минутную производительность забойных машин (комбайн, экскаватор). В первом случае приходится пользоваться значениями  $k$ , полученными опытным путем по разным методикам.

Рассмотрим неравномерность поступающего в течение смены неравномерного потока (график 1, рис. 4.4) на средство транспорта непрерывного действия. Производительность такого потока (график 2) время от времени может быть равной нулю из-за остановок транспортной машины (не по вине машины, например, участки  $t_1, t_4, t_6$ ) и работы ее в холостую, без груза (например, участки  $t_2, t_3, t_5$ ).

Исключив время остановок машины за смену, построен график 3 (аналогичный графику 2) изменения производительности за время работы машины  $t_m$  (машинное время). Коэффициентом машинного времени называют отношение

$$k_m = \frac{t_m}{t_{cm}}. \quad (4.10)$$

Средняя часовая производительность за машинное время:

$$Q_{cp} = \frac{Q'_{cm}}{t_m} = \frac{Q'_{cm}}{k_m \cdot t_{cm}}, \text{ т/ч.} \quad (4.11)$$

где  $Q'_{cm}$  – количество груза ( $m_k$  на графике 1), перевезенное за смену (оно же и в течение машинного времени). Неравномерность такого грузопотока принято характеризовать коэффициентом неравномерности  $k$  за машинное время  $t_m$

$$k = \frac{Q_{макс}}{Q_{cp}}, \quad (4.12)$$

где  $Q_{макс}$  – максимальное значение мгновенной производительности (из графика 2 или 3).

Значение  $Q_{cp}$  легко определяется из выражения 4.11 если замерить массу груза  $Q'_{cm}$ , а также измерить  $t_m$ . Определение же значения  $Q_{макс}$  можно осуществить только непрерывным взвешиванием (например, конвейерные весы или весы непрерывного взвешивания емкости, записывающие график изменения массы перевезенного груза в течение смены), однако в местах начала грузопотоков (очистные и подготовительные забои) такой способ получения графика затруднителен по техническим причинам.

Построить графики изменения  $Q$  во времени, приближающиеся к действительно имеющим место, можно, применив метод мерных емкостей (фиксируется время заполнения известной емкости  $\Delta m$ ) или метод мерных интервалов времени (фиксируется масса каждой порции  $\Delta m$ , образовавшейся за одинаковые интервалы времени  $\Delta t$ , рис. 4.4).

Нетрудно убедиться, что каждый такой замер (или мерной емкостью или мерным интервалом времени) дает усредненное меньшее значение  $Q$  и график изменения производительности получится ступенчатый. В этом случае  $Q_{макс}$  (ордината самой высокой ступеньки на графике) вероятнее всего будет меньше, чем если бы измерения проводились непрерывно, следовательно, и значение  $k$  будет меньше чем действительное. Чем больше принята мерная емкость или мерный интервал времени для измерения производительности, тем больше будет отличаться значение  $k$  от имеющего место в действительности, вычисленного по мгновенному значению  $Q_{макс}$  (см. графики 3, 4 и 5 на рис. 4.4).

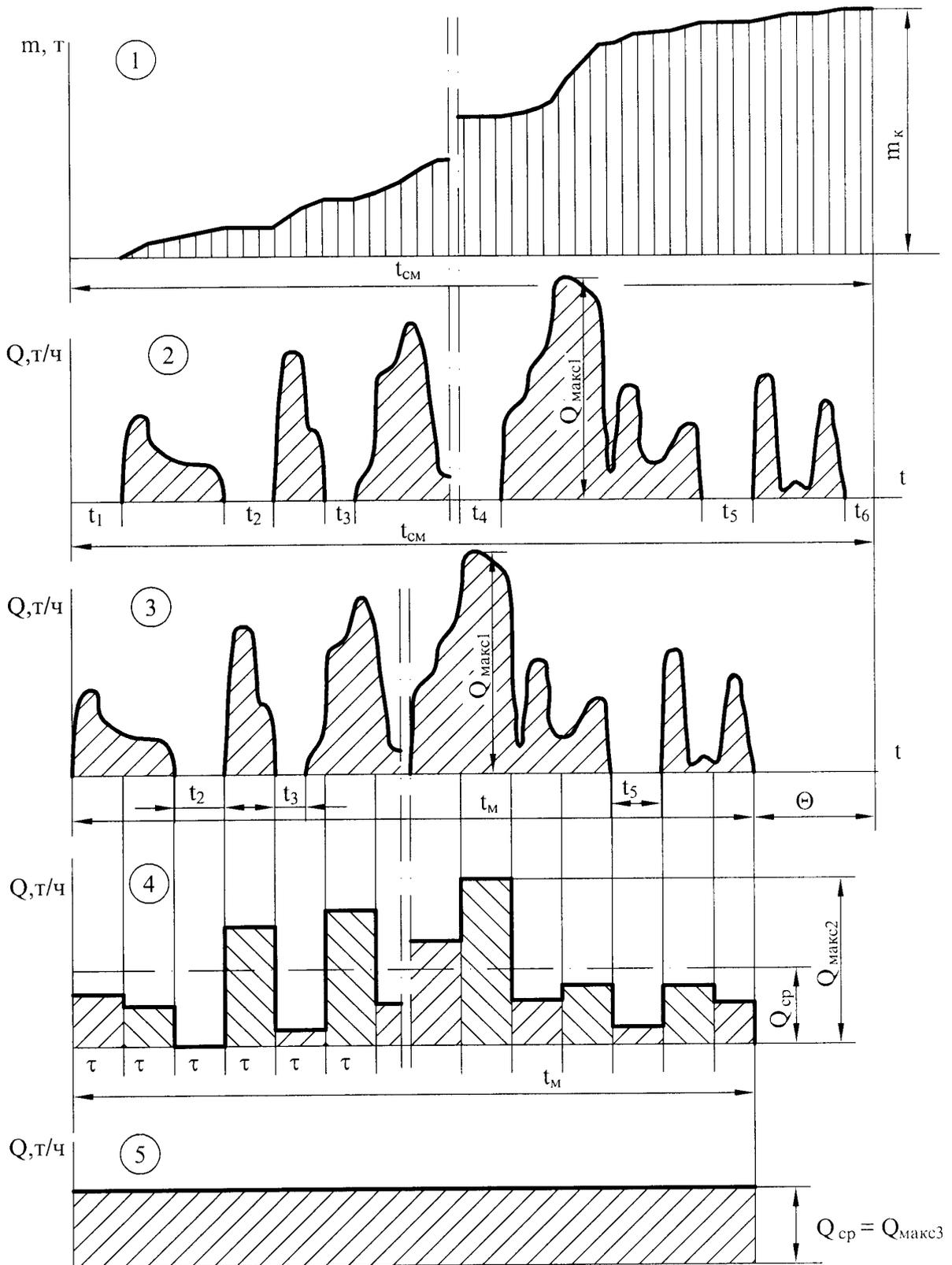


Рис. 4.4. График 1 непрерывного неравномерного потока груза  $m$  и изменений его производительности  $Q$ : 2 – мгновенные значения за время смены; 3 – то же за машинное время; 4 и 5 усредненные по интервалу времени значения при  $\tau = t_M/n$  и  $t = t_M$  соответственно ( $n$  – число мерных интервалов времени за машинное время)

Приводимые в литературе значения  $k$  в очистных и подготовительных забоях определены замерами с мерным интервалом в одну минуту, поэтому наибольшую минутную производительность грузопотока и принимают равной расчетному ее значению: (расчетному грузопотоку)

$$Q_p = Q_{\max} \cdot \quad (4.13)$$

На графиках 3 и 4 рис. 4.4 показаны мгновенная производительность потока  $Q_{\max 1}$  и ее усредненные по мерному интервалу времени  $\tau$  значения  $Q_{\max 2}$ . Видно, что если  $\tau \neq 0$  всегда  $Q_{\max 1} > Q_{\max 2}$ . Там же на графике 5 показано, что  $Q_{\max 3} = Q_{cp}$ , если мерный интервал времени  $\tau = t_m$ . Следовательно, для одного и того же неравномерного потока величина  $k$  может иметь значения (в зависимости от метода ее определения) от  $k = k_{\max}$  (непрерывное взвешивание) до  $k = 1$  при  $\tau = \tau_m$ .

Ордината каждой ступени ступенчатого (по мерному интервалу  $\tau$ ) графика грузопотока равна средней производительности за интервал  $\tau$ . Измерив отклонения каждого значения производительности от среднего значения  $Q_{cp}$ , по правилам статистики получают среднее квадратичное отклонение  $\sigma$ .

Максимальная производительность

$$Q_{\max} = Q_{cp} + \xi \sigma, \quad (4.14)$$

где  $\xi$  – квантиль, зависящая от вероятности  $P$ , с которой определяется  $Q_{\max}$ . Разделив (4.14) на  $Q_{cp}$  получим коэффициент неравномерности

$$k = 1 + \frac{\xi \sigma}{Q_{cp}}. \quad (4.15)$$

Обычно принимают  $\xi = 3$  («правило трех сигм»), т.е. считают максимальное отклонение равным  $3\sigma$ , что при нормальном законе распределения соответствует  $P = 0,99$ .

Примерные значения  $k_m$ , рекомендуемые (применяемые) для расчетов: скребковые конвейеры в лаве –  $0,4 \div 0,65$ , ленточные конвейеры в шахте –  $0,7 \div 0,85$ , концевые канатные и электровозная откатки –  $0,75$ .

Применяемые в расчетах значения  $k$ : участковые выработки угольных шахт –  $2$ , магистральные выработки –  $1,5$ .

Если неравномерный непрерывный грузопоток, показанный на рис. 4.4, будет в дальнейшем обслуживаться транспортным средством периодического действия (например, откатка составами вагонеток), неравномерность последнего сглаживается (уменьшается). Величина  $k$  здесь будет зависеть от емкости и количества составов за смену. Имея даже ступенчатые графики непрерывного потока (рис. 4.4), построениям новых графиков на основании уже мерных емкостей (емкости), определяется  $k$  по формуле (4.12) (см. рис. 4.6).

#### 4.5. Неравномерность сходящихся грузопотоков

Рассмотренная выше неравномерность одиночного непрерывного неравномерного (например, конвейеры 1 и 2, а также 3 и 4, рис 4.5), который поступает и транспортируется средством непрерывного транспорта, повторяется и на всех последующих таких же (непрерывного действия) средствах, если в местах перегрузки отсутствуют бункеры (например, между 1 и 2, 3 и 4). Последние, снизили бы неравномерность потока на последующих транспортных средствах (на конв. 2 и 4) и, теоретически, при достаточной емкости, смогли бы обеспечить  $k = 1$ . Это позволило бы иметь последующие транспортные установки непрерывного действия гораздо меньше по всем параметрам (и дешевле), чем те, которые загружают бункер.

На рис. 4.5 приведена схема конвейерной линии, обслуживающая два очистных забоя угольной шахты (два одиночных неравномерных непрерывных грузопотока). Каждый из забойных конвейеров 1 и 3 работает со средней производительностью  $Q_{cp1}$  и  $Q_{cp3}$  и имеет коэффициент неравномерности грузопотока  $k_1$  и  $k_3$ . Между конвейерами 1 и 2, а также 3 и 4 нет промежуточных бункеров, поэтому и конвейеры 2 и 4 будут работать с такими же  $Q_{cp}$  и  $k$ , какие потоки на них поступают. Конвейер 5 обслуживает сходящийся грузопоток, полученный от слияния потоков из конвейеров 2 и 4. (количество сходящихся потоков может превышать 2, поэтому последний из них обозначим  $n$  с параметрами  $Q_{cp.n}$  и  $k_n$ ).

Суммарная средняя производительность сборного грузопотока (конв. 5) равна:

$$Q_{cp.сб} = Q_{cp.2} + Q_{cp.4} + \dots + Q_{cp.n}. \quad (4.16)$$

Определение коэффициента неравномерности сборного грузопотока  $k_{сб}$  может быть осуществлено по одному из следующих двух подходов.

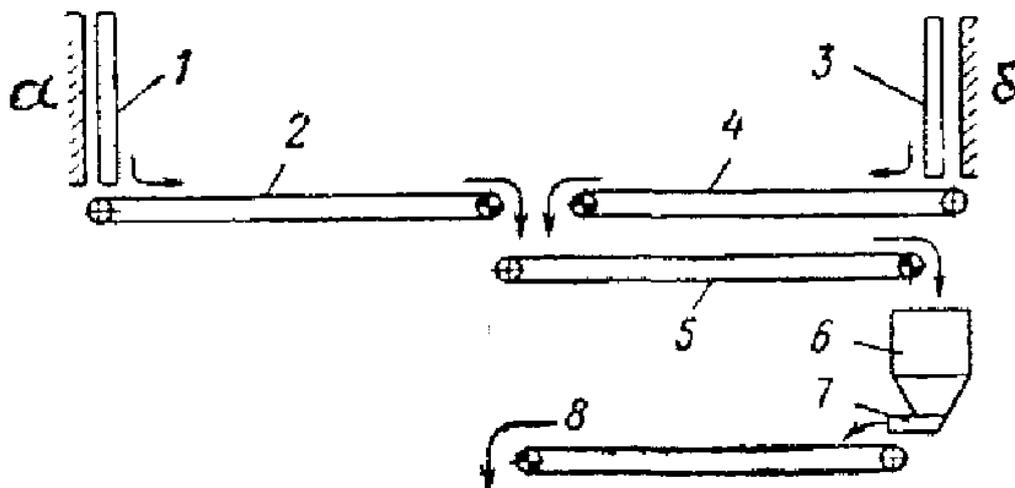


Рис. 4.5. Схема конвейерной линии

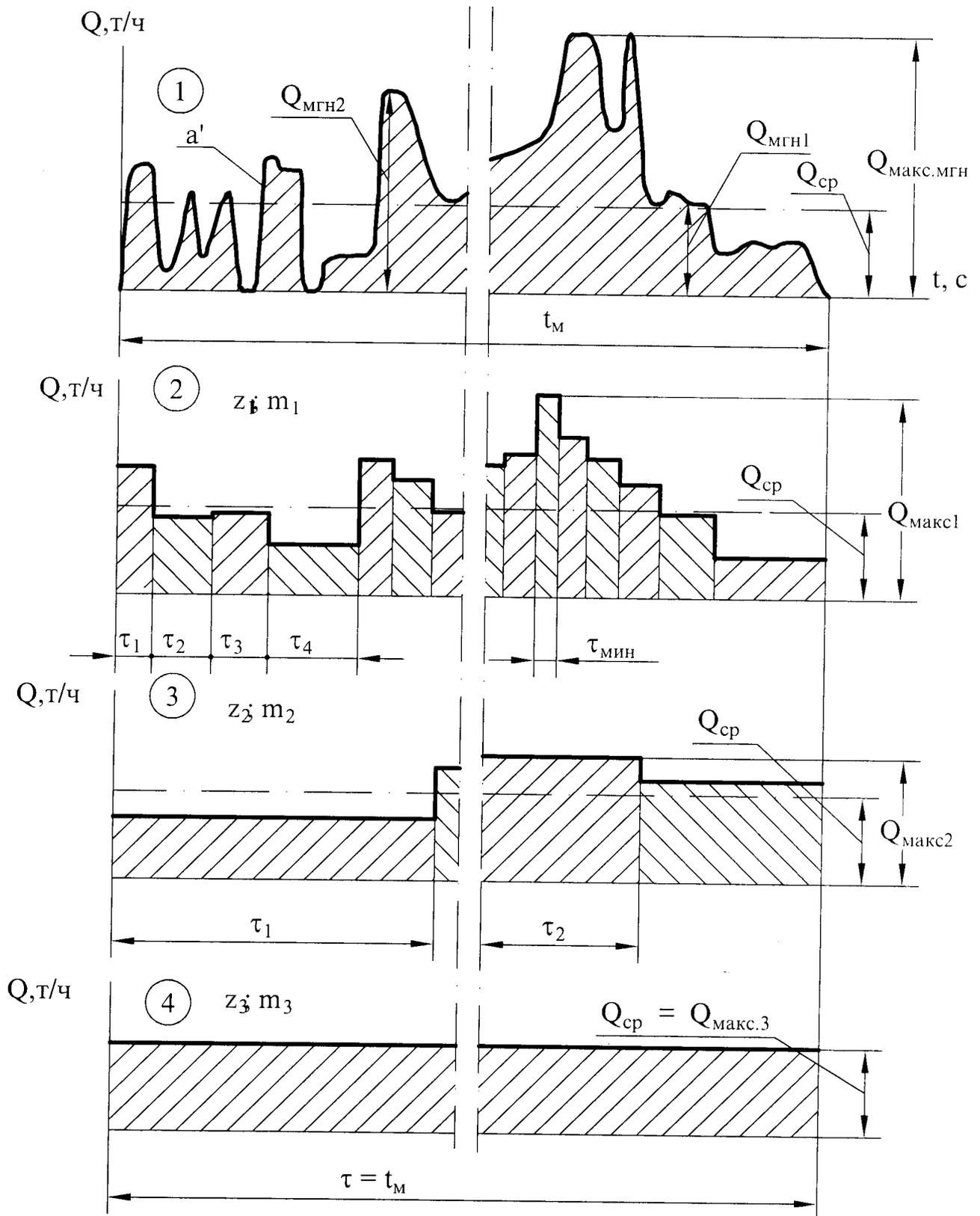


Рис. 4.6. Графики 2, 3, 4 изменения производительности транспортных средств периодического действия различной грузоподъемности состава ( $z_1 m_1$ ;  $z_2 m_2$ ;  $z_3 m_3$ ) при непрерывной их загрузке неравномерным потоком 1

4.5.1. Вероятность совпадения максимальных производительностей каждого из потоков в пространстве (в месте слияния потоков) незначительна и во внимание не принимается. Тогда, согласно [1] если средние производительности  $Q'_{cp}$  всех  $n$  конвейеров и коэффициенты их неравномерности  $k'$  одинаковы, то

$$Q_{cp.cб} = Q'_{cp} \cdot n, \quad (4.17)$$

$$k'_{cp} = 1 + \frac{k' - 1}{\sqrt{n}} \quad (4.18)$$

Из 4.18 видно, что чем больше грузопотоков сливается в один, тем меньше коэффициент суммарного потока. К такому выводу можно прийти, если считать, как указывалось выше, что пики производительности всех сходящихся потоков не «приходят» в место смешивания одновременно. Такой гарантии не существует, а значит возможны слияния потоков так, что, в зависимости от длительности и частоты пиков производительности каждого потока,  $Q_{макс}$  суммарного потока, будет больше значения, которое учтено в формуле (4.18). В этих случаях величина  $k_{cб}$  (посчитана по 4.18) окажется меньше фактической, поэтому возможно «необеспечение» сборного грузопотока транспортом. Такие совпадения могут привести к непредсказуемым нежелательным процессам, технико-экономические и другие последствия которой не всегда можно оценить.

4.5.2. Принимается в расчет возможность совпадения максимальных производительностей каждого из потоков в месте их слияния.

На рис. 4.7 показаны графики 1 и 2 изменения производительности потоков конвейеров 2 и 4, соединяющихся в один поток на конвейере 5 (рис. 4.5). Для случая совпадения пиков производительности построен график 3 суммарного потока. Если обозначить через  $Q_{cp.1}$ ,  $Q_{cp.2}$  и  $Q_{cp.cб}$ , а также через  $Q_{макс.1}$ ,  $Q_{макс.2}$  и  $Q_{макс.cб}$  – соответственно средние и максимальные мгновенные производительности потоков, то, аналогично предыдущему

$$Q_{cp.cб} = Q_{cp1} + Q_{cp2}, \quad (4.19)$$

$$Q_{макс.cб} = Q_{макс.1} + Q_{макс.2}, \quad (4.20)$$

$$K_{cб} = \frac{Q_{макс.cб}}{Q_{cp.cб}} = \frac{Q_{макс.1} + Q_{макс.2}}{Q_{cp1} + Q_{cp2}}, \quad (4.21)$$

или

$$k_{cб} = \frac{Q_{cp1} \cdot k_1 + Q_{cp2} \cdot k_2}{Q_{cp1} + Q_{cp2}}. \quad (4.22)$$

или для  $n$  потоков:

$$k_{cб} = \frac{Q_{cp1} \cdot k_1 + Q_{cp2} \cdot k_2 + \dots + Q_{cpn} \cdot k_n}{Q_{cp1} + Q_{cp2} + \dots + Q_{cpn}}. \quad (4.23)$$

Из 4.21 видно, что если  $k_1 = k_2$ , то  $k_{сб} = k_1 = k_2$ , а если  $k_1 > k_2$ , то  $k_2 < k_{сб} < k_1$ . В любом случае значение  $k_{сб}$  по формуле (4.23) больше, чем по (4.18). Это и может обеспечить бесперебойное транспортирование конвейером 5 сборного грузопотока в периоды совпадения пик мгновенной производительности конвейеров 2 и 4 (рис. 4.6), если он рассчитан на  $Q_{ср}$  по (4.19), а  $k_{ср}$  – по (4.23).

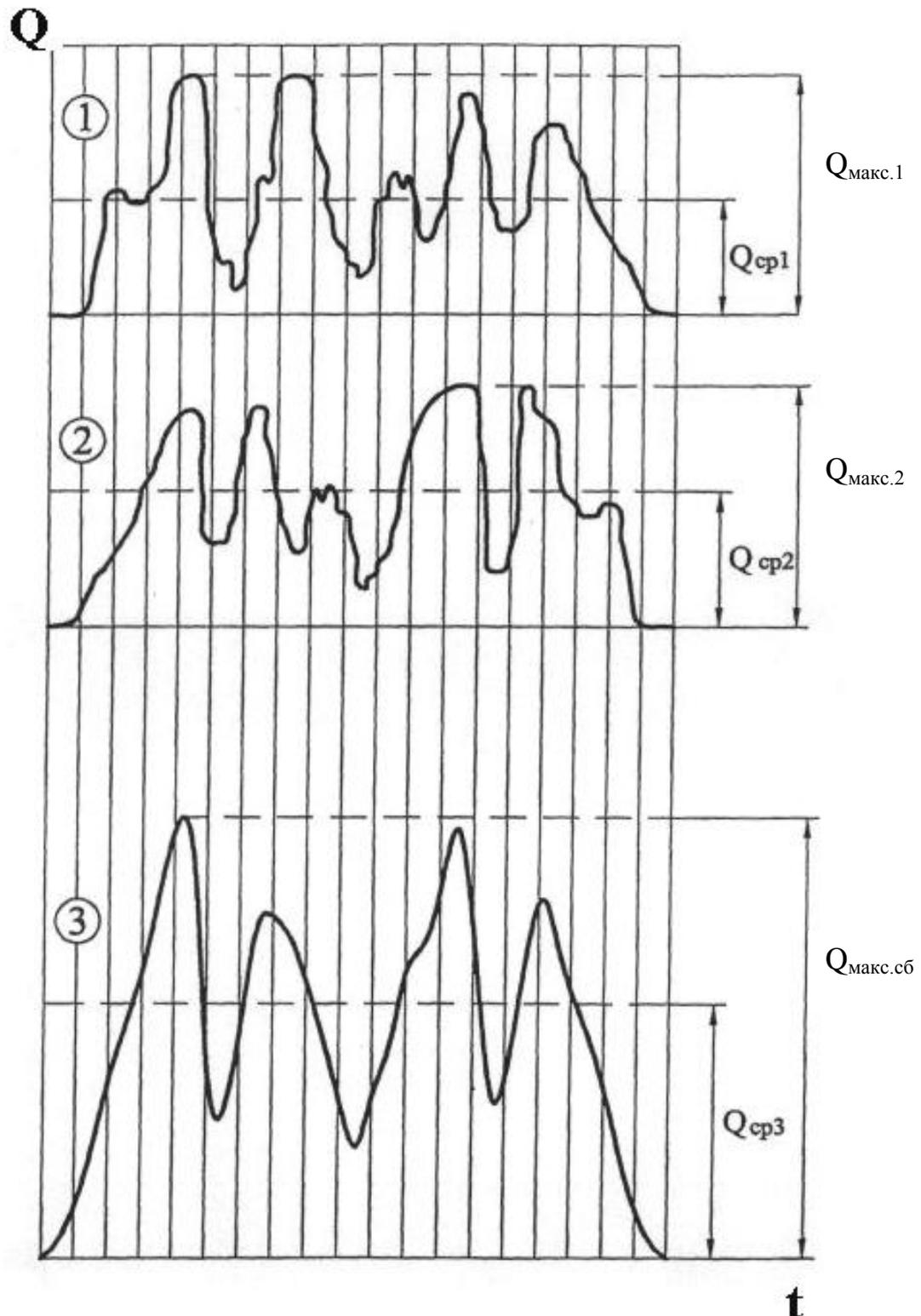


Рис. 4.7. Графики производительности одиночных (1 и 2) и суммарного (3) потоков

#### 4.6. Емкость бункера.

Наличие промежуточного бункера 6 и питателя 7 между конвейерами 5 и 8 рис. 4.8 позволяет уменьшить (сгладить) неравномерность потока на конвейере 8 и иметь его предельную производительность меньше, а степень использования показателей характеристики больше, чем без бункера. Задачей в этом случае является определение необходимой емкости бункера для приема (сглаживания) имеющей место неравномерности входящего грузопотока таким образом, чтобы в периоды пик его производительности бункер не переполнялся.

Определение емкости промежуточного (сглаживающего) бункера (факультативно) рекомендуется в литературе [1]. Кроме вычислений по заданным условиям, как приведено в [1], для известных условий минимальную емкость бункера (а именно она считается наиболее целесообразной, обоснованной) можно определить графически.

На рис. 4.8 в координатах  $m-t$  показан график А заполнения бункера в течение смены и график Б его выгрузки за произвольное (в определенных пределах) время. Наибольшая разница между ординатами графиков – отрезок А – Б и является минимально возможной для заданных условий загрузки и выбранных условий выгрузки емкости бункера.

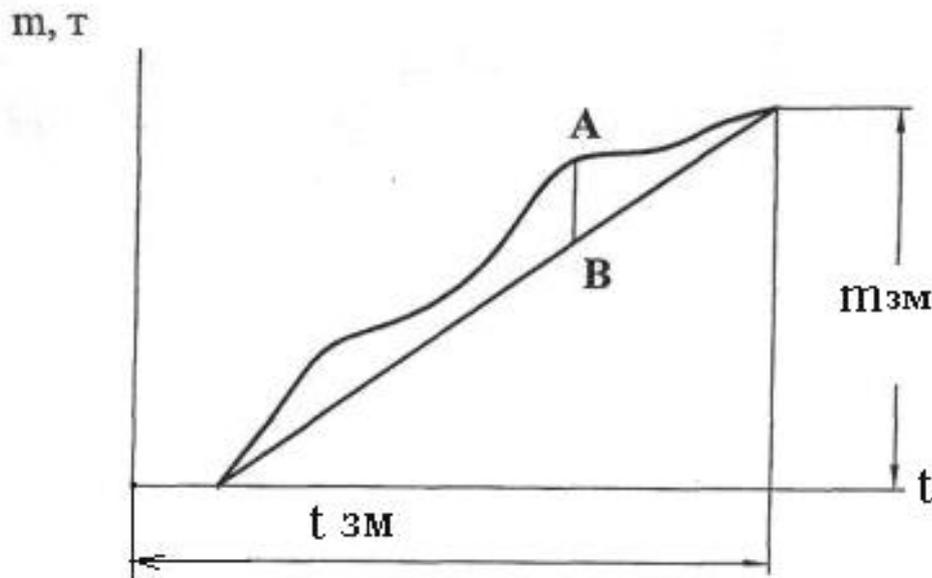


Рис. 4.8. К определению емкости сглаживающего бункера

#### 4.7. Эксплуатационная производительность и ее резервы.

Различают реальную (действительную)  $Q_{см}$ , т/см и нормативную (расчетную)  $Q_{см}^H$ , т/см эксплуатационные производительности. Здесь расчетная (нормативная)  $Q_{см}^H$ , т/см – получена расчетным путем и названа «нормативной». Аналогично нормативными значениями называют значения коэффициента неравномерности  $k^H$  и коэффициента машинного времени  $k_M^H$ , которые были приняты в расчетах.

При эксплуатации транспортных средств по разным причинам нормативная производительность не достигается ( $Q_{см} < Q_{см}^H$ ), поэтому появляется актуальный вопрос определения резерва сменной производительности, который принято характеризовать коэффициентом резерва:

$$r = \frac{Q_{см}^H}{Q_{см}} \quad (4.24)$$

Задача 1. Дано  $Q_T$ , т/ч – теоретическая производительность транспортного средства;  $t_{см}$ , ч – время смены. Определить нормативную сменную производительность  $Q_{см}^H$ , т/см.

Известно, что

$$Q_p = Q_{макс} = \frac{Q_{см}k}{t_{см}k_M} \quad (4.25)$$

Считая  $Q_p = Q_T$  (см. 4.1), получим нормативную производительность

$$Q_{см}^H = \frac{Q_T \cdot t_{см} \cdot k_M^H}{k^H}, \text{ т/см,} \quad (4.26)$$

если считать  $k_u^H$  и  $k_M^H$  нормативными их значениями.

Задача 2. Дано  $Q_T$ , т/ч;  $t_{см}$ , ч. фактическая сменная  $Q_{см}$ , т/см, время смены  $t_{см}$ . Определить коэффициент резерва сменной производительности  $r$  и его источники.

На рис. 4.9, изображен график производительности за машинное время (заштрихованный контур; площадь равна  $Q_{см}$ ). Теоретически возможная производительность равна площади прямоугольника OABC (в случае работы всю смену с производительностью  $Q_T$  без перерыва). Из рис. видно, что  $Q_{макс}$  не достигает  $Q_T$ , т.е. имеет место недоиспользование машины по ее теоретической производительности, которое характеризуется коэффициентом интенсивности

$$k_u = \frac{Q_{макс}}{Q_T}, \text{ т/ч.} \quad (4.27)$$

Подставив значения  $Q_{см}^H$  и  $Q_{см}$  в (4.24) получим

$$r = \frac{Q_T k \cdot k_M^H}{Q_{макс} k^H \cdot k_M} = \frac{1}{k_u} \cdot \frac{k}{k^H} \cdot \frac{k_M^H}{k_M} \quad (4.28)$$

Здесь:

$$Q_{см} = Q_{cp} \cdot t_{см} \cdot k_M = \frac{Q_{макс} \cdot t_{см} \cdot k_M}{k}, \quad (4.29)$$

$$Q_{см}^H = \frac{Q_T \cdot t_{см} \cdot k_M^H}{k^H} \quad (4.30)$$

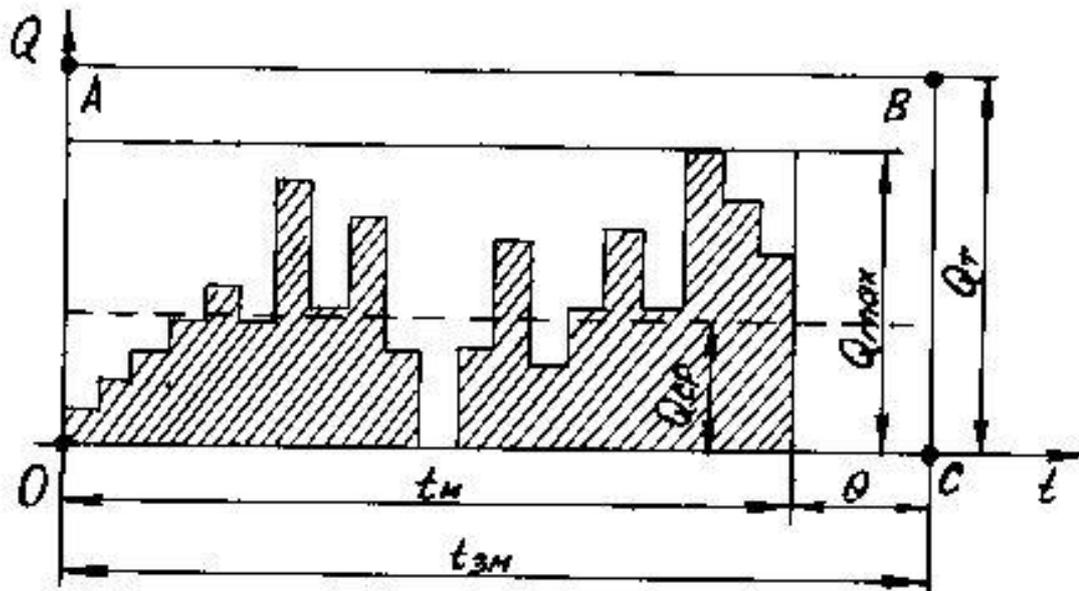


Рис. 4.9. График грузопотока за смену (к определению резерва)

Три сомножителя дают соответственно величину резерва по интенсивности, неравномерности грузопотока и машинному времени.

Пример. Определить резерв сменной производительности ленточного конвейера, работающего при  $k_u = 0,8$ ;  $k = 2,3$ ;  $k_m = 0,7$ . Нормативные значения  $k^H = 1,5$  и  $k_m^H = 0,95$

$$r = \frac{1}{0,8} \cdot \frac{2,3}{1,5} \cdot \frac{0,95}{0,7} = 1,25 \cdot 1,53 \cdot 1,36 = 2,6.$$

Здесь:  $k_u = \frac{Q_{\max}}{Q_T}$ ;  $k = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{ср}}}$ ;  $k_m^H = \frac{t_m^H}{t_{\text{см}}}$ ;  $k_m = \frac{t_m}{t_{\text{см}}}$ .

Из примера видно, что увеличивать максимальную производительность (повышать интенсивность), можно в 1,25 раза, уменьшать коэффициент неравномерности грузопотока в 1,53 раза и увеличивать машинное время в 1,36 раза по сравнению с принятыми в расчетах (при проектировании) значениях. Анализируя таким образом состояние фактических значений  $k$ ,  $t_m$  и  $Q_{\max}$  можно судить о наличии резерва производительности  $Q_{\text{см}}$  или о некорректных значениях коэффициентов (нормативов)  $k^H$ ,  $k_m^H$  и  $Q_T$  принятых в расчетах.

#### **Рекомендуемая литература:**

1. Біліченко М.Я. Основи теорії та розрахунки транспортних засобів механізації переміщення вантажів шахт. Навчальний посібник - Дніпропетровськ: НГУ, 2002. – 102с. (стр. )
2. Транспорт на горных предприятиях / Под ред.. проф, Б.Л. Кузнецова. М.: Недра, 1976, - 552 с. (стр. )
3. Основные положения по проектированию подземного транспорта для новых и действующих угольных шахт. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1986, - 355 с.
4. Шахтный транспорт шахт и рудников: Справочник / Под ред. Г.Я. Пейсаховича, И.Л. Ремизова. - М.: Недра, 1985. - 565 с.

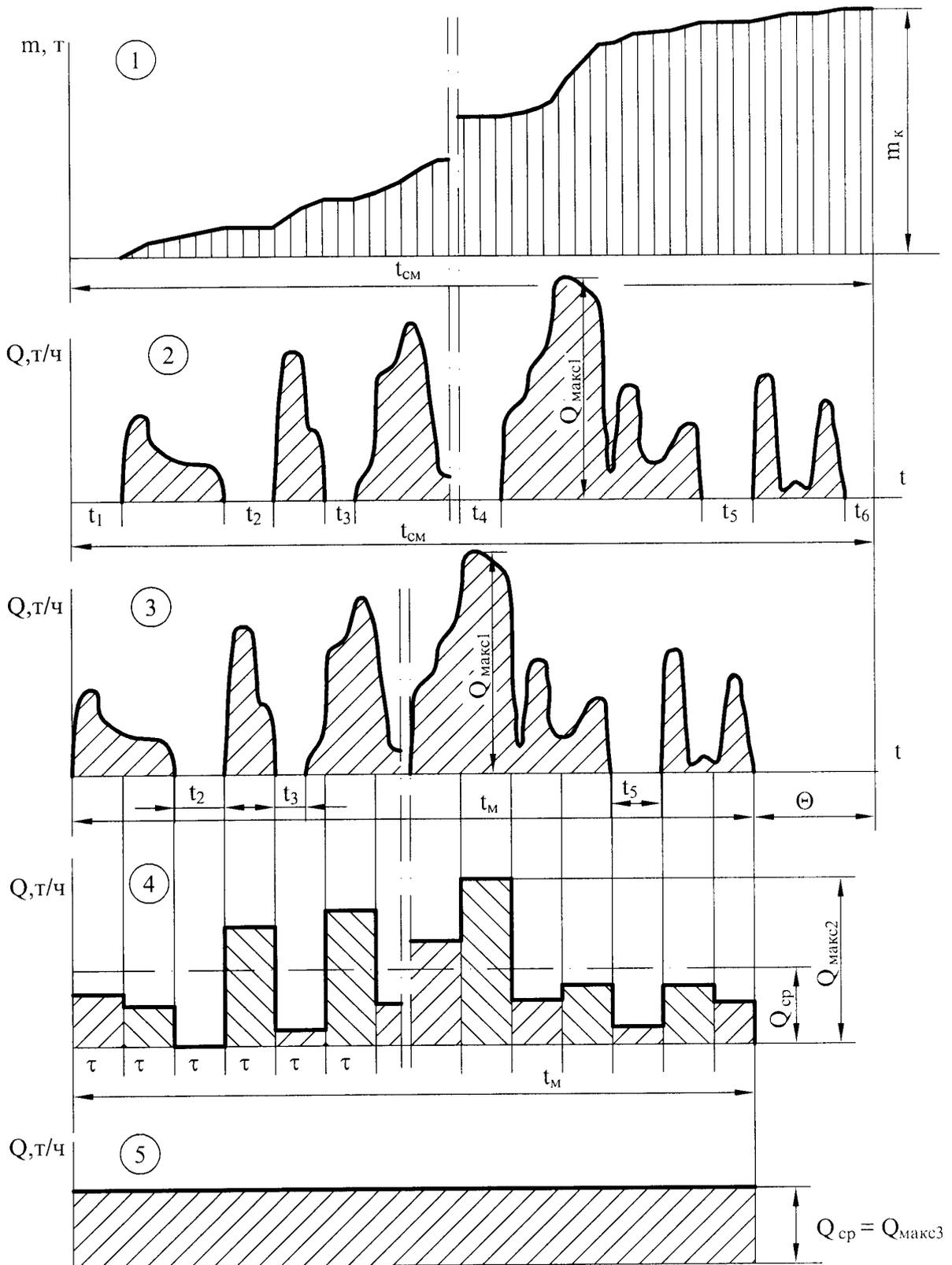


Рис. 4.4. График 1 непрерывного неравномерного потока груза  $m$  и изменений его производительности  $Q$ : 2 – мгновенные значения за время смены; 3 – то же за машинное время; 4 и 5 усредненные по интервалу времени значения при  $\tau = t_M/n$  и  $t = t_M$  соответственно ( $n$  – число мерных интервалов времени за машинное время)

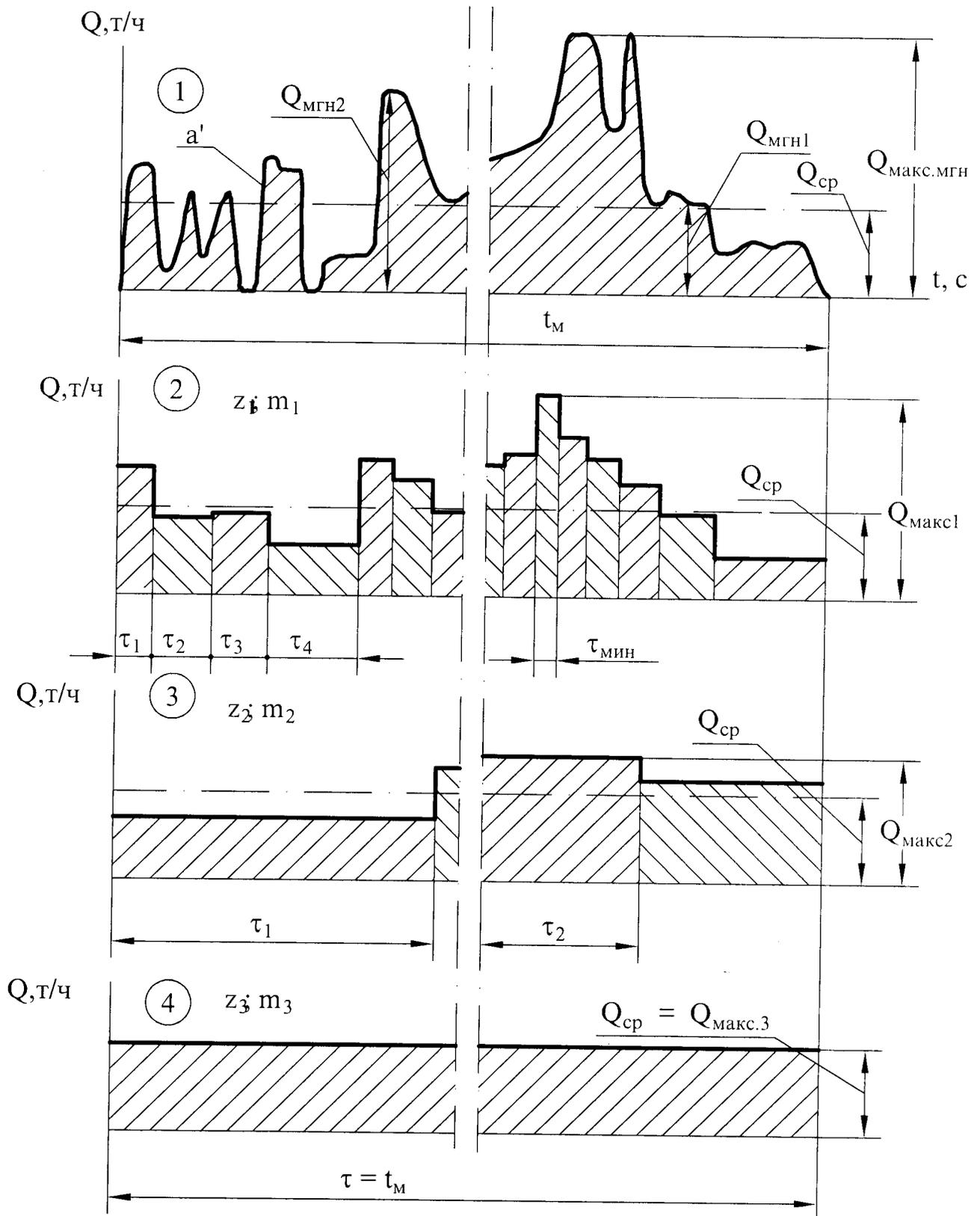


Рис. 4.6. Графики 2, 3, 4 изменения производительности транспортных средств периодического действия различной грузоподъемности состава  $(z_1 m_1; z_2 m_2; z_3 m_3)$  при непрерывной их загрузке неравномерным потоком 1

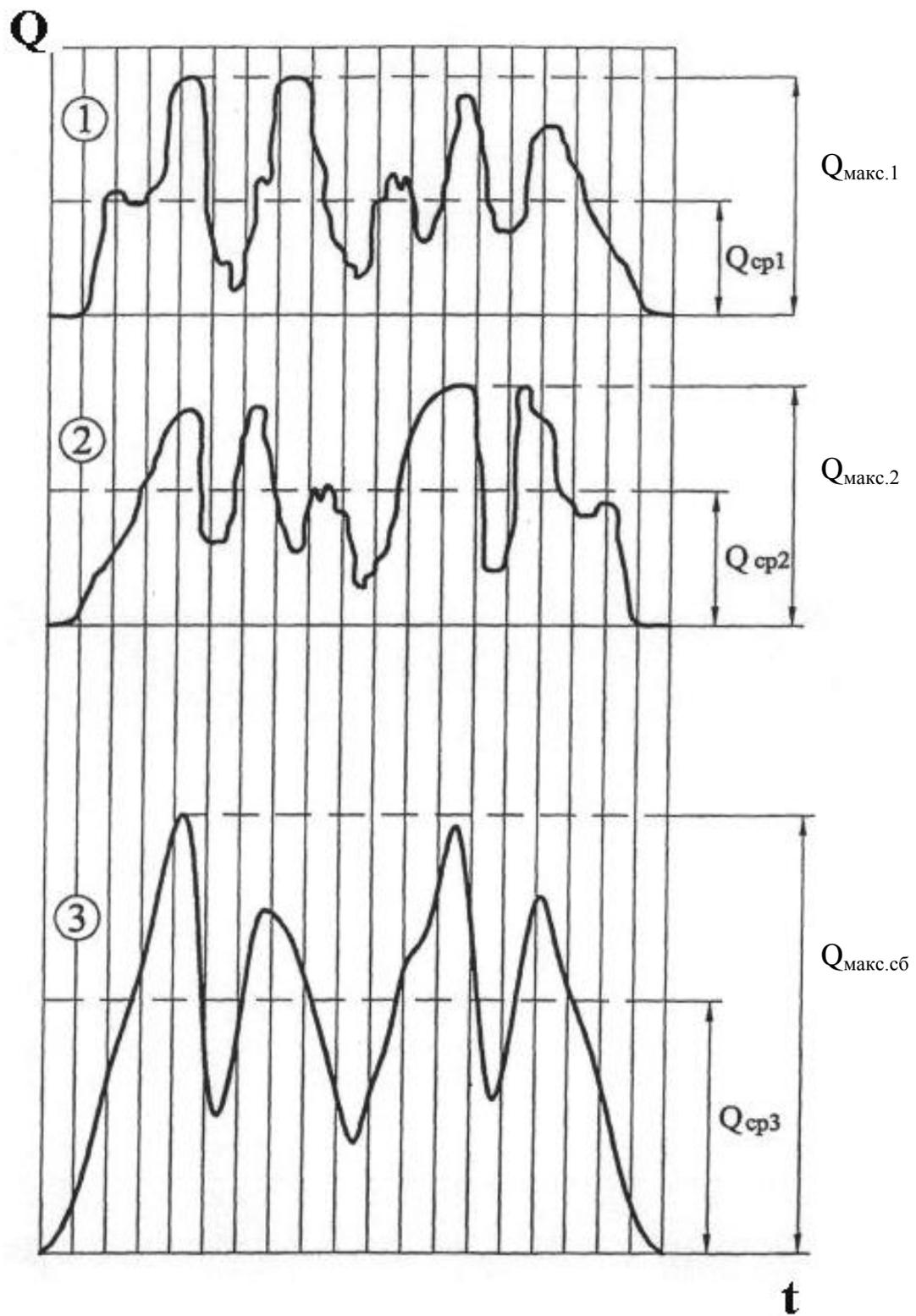


Рис. 4.7. Графики производительности одиночных (1 и 2) и суммарного (3) потоков