



# Расчет среднего веса грузового поезда



Александр БАТУРИН

Alexander P. BATURIN

**Средний вес грузового поезда является важнейшим показателем, характеризующим использование действующей весовой нормы, мощности тяговых средств и определяющий при заданных объемах перевозок размеры движения грузовых поездов на участках железнодорожного направления. Показатель играет ведущую роль в технико-экономических расчетах, но используемые при этом методы дают основание искать корректирующие варианты. Автор статьи предлагает свою интерпретацию известной формулы, которая применяется при выборе оптимальных весовых норм грузовых поездов (полносоставных и полновесных) и исходит из определенных предположений. С помощью измененной формулы достигается разница расчетного среднего веса порядка 2,3%.**

*Ключевые слова:* грузовой поезд, средний вес, расчетная формула, оптимальные весовые нормы, теоретические основы расчетов.

*Батурин Александр Павлович — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

Профессором К. К. Тихоновым [1] была предложена формула, позволяющая устанавливать зависимость среднего веса поезда от весовой нормы, стандарта длины станционных приемо-отправочных путей, весовой структуры грузопотока на расчетном участке.

## 1.

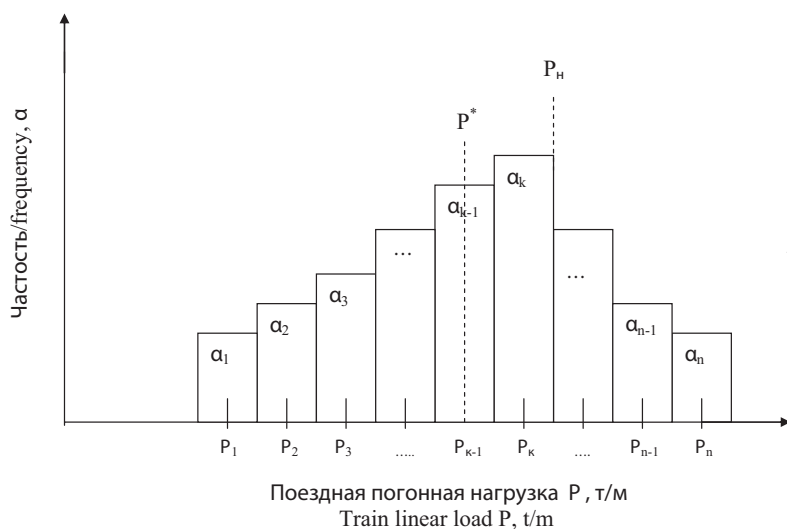
Основой зависимости среднего веса поезда от указанных факторов является гистограмма распределения поездных погонных нагрузок (рис. 1), которая рассчитывалась на базе статистического материала о фактических весах и длинах поездов.

На рис. 1  $P^*$  — среднее значение поездной погонной нагрузки;  $P_H$  — поездная погонная нагрузка, определяемая весовой нормой  $Q_H$  и полезной длиной станционных приемо-отправочных путей  $(l_{ct} - a)$ .

$$P_n = \frac{Q_H}{l_{cm} - a}. \quad (1)$$

Средний вес поезда при весовой норме  $Q_H$  рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{ср}}^* = \frac{P^* (l_{cm} - a)}{\sum_{i=1}^k \alpha_i + \frac{1}{P_H} \sum_{i=k+1}^n \alpha_i P_i}, \quad (2)$$



**Рис. 1. Гистограмма распределения поездных погонных нагрузок.**

**Pic. 1. Histogram of train linear load distribution.**

где  $\alpha_i$  — частота  $i$ -го разряда гистограммы;

$P_i$  — среднее значение поездной погонной нагрузки в  $i$ -м разряде гистограммы;

$k$  — номер разряда гистограммы, правая граница которого совпадает с  $P_n$ .

Частота  $i$ -го разряда гистограммы определяется как отношение

$$\alpha_i = \frac{m_i}{m_{\text{общ}}} = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (3)$$

где  $m_i$  — число статистических выборок, попавших в  $i$ -й разряд гистограммы распределения поездных погонных нагрузок;  $m_{\text{общ}}$  — общий объем статистической выборки.

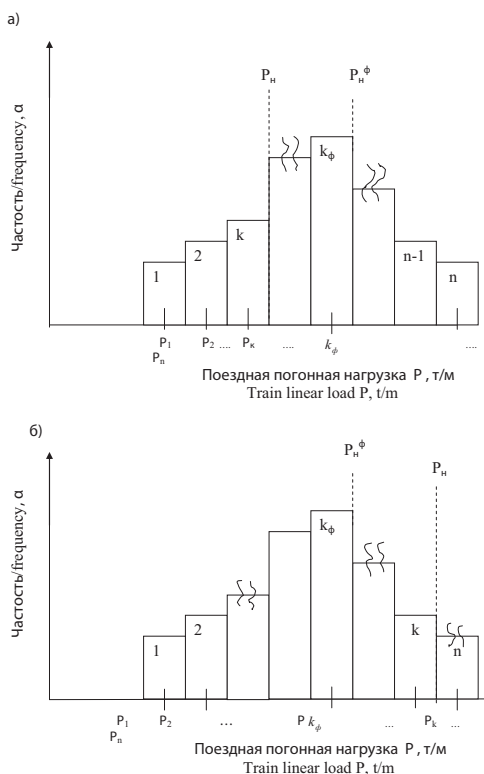
При выводе формулы (2) [1, с.68] поезда в соответствии с правилами формирования являются либо полновесными (сформированными по весовой норме), либо полносоставными (сформированы по длине станционных приемо-отправочных путей). При этих условиях средний вес поезда брутто составит:

$$Q_{\text{бп}}^* = \frac{A}{n_{\text{не}} + n}, \quad (4)$$

где  $A$  — заданный суточный объем перевозочной работы;

$n_{\text{не}}$ ,  $n_{\text{пв}}$  — среднесуточные размеры движения полносоставных и полновесных поездов соответственно.

В своих последующих выкладках профессор К. К. Тихонов предполагал, что число полносоставных и полновесных поездов не зависит от того, какой была



**Рис. 2. Гистограмма поездных погонных нагрузок при различных значениях весовых норм.**

**Pic. 2. Histogram of train linear loads under different values of tonnage ratings.**

исходная весовая норма, при которой собиралась статистика весов, длин поездов и строилась гистограмма распределения поездных погонных нагрузок, соответствующая этой исходной весовой норме.

И вот здесь возникает вопрос, как изменится формула (2), если отказаться от этого предположения?





Сравнение данных расчета среднего веса поезда  
Comparison of calculation results of average train weight

| Весовая норма $Q_n$<br>/Tonnage rating, $Q_n$ | Средний вес поезда по формуле (2) /<br>Average train weight under formula (2) | Средний вес поезда по формулам (8), (9) при исходной весовой норме $Q_n^\Phi$ /Average train weight under formulas (8), (9) with initial tonnage rating $Q_n^\Phi$ |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                                               |                                                                               | 3000                                                                                                                                                               | 3500 | 4000 | 4500 | 5500 | 6500 |
| 6500                                          | 4783                                                                          | 4518                                                                                                                                                               | 4568 | 4613 | 4657 | 4741 | 4783 |
| 6000                                          | 4740                                                                          | 4490                                                                                                                                                               | 4539 | 4580 | 4624 | 4703 | 4740 |
| 5500                                          | 4626                                                                          | 4410                                                                                                                                                               | 4456 | 4495 | 4535 | 4599 | 4626 |
| 5000                                          | 4466                                                                          | 4288                                                                                                                                                               | 4331 | 4366 | 4401 | 4447 | 4466 |
| 4500                                          | 4218                                                                          | 4093                                                                                                                                                               | 4128 | 4157 | 4180 | 4210 | 4218 |
| 4000                                          | 3860                                                                          | 3780                                                                                                                                                               | 3807 | 3826 | 3840 | 3856 | 3860 |
| 3500                                          | 3429                                                                          | 3386                                                                                                                                                               | 3402 | 3414 | 3421 | 3428 | 3429 |
| 3000                                          | 2976                                                                          | 2959                                                                                                                                                               | 2967 | 2971 | 2973 | 2975 | 2976 |
| 2500                                          | 2496                                                                          | 2496                                                                                                                                                               | 2496 | 2496 | 2496 | 2496 | 2496 |

## 2.

Перевозочная работа, определяемая при действующей весовой норме  $Q_n^\Phi$  и соответствующей ей поездной погонной нагрузке  $P_n^\Phi$ , составит (рис. 2а):

$$A = \sum_{i=1}^{k_\Phi} P_i m_i (l_{cm} - a) + Q_n^\Phi \sum_{i=k_\Phi+1}^n m_i, \quad (5)$$

где первое слагаемое определяет перевозочную работу полноразмерных поездов, а второе — полновесных.

Если при расчете весовая норма принимается меньше действующей ( $Q_n < Q_n^\Phi$ ), то (рис. 2а) число полноразмерных поездов будет:

$$n_{nc} = \sum_{i=1}^k m_i. \quad (6)$$

А число полновесных поездов:

$$n_{ns} = \sum_{i=k+1}^{k_\Phi} \frac{P_i (l_{cm} - a) m_i}{Q_n} + \sum_{i=k_\Phi+1}^n \frac{Q_n^\Phi m_i}{Q_n}. \quad (7)$$

В формуле (7) первое слагаемое определяет число полновесных поездов, которые при действующей весовой норме  $Q_n^\Phi$  были полноразмерными. Второе слагаемое — число полновесных поездов при весовой норме  $Q_n$ , которые тоже были полновесными, но при весовой норме  $Q_n^\Phi$ .

Таким образом, при  $Q_n \leq Q_n^\Phi$ :

$$Q_{\text{ср}}^* = \frac{A}{n_{nc} + n_{ns}} = \frac{\sum_{i=1}^{k_\Phi} P_i m_i (l_{cm} - a) + Q_n^\Phi \sum_{i=k_\Phi+1}^n m_i}{\sum_{i=1}^k m_i + \sum_{i=k+1}^{k_\Phi} \frac{P_i (l_{cm} - a) m_i}{Q_n} + \sum_{i=k_\Phi+1}^n \frac{Q_n^\Phi m_i}{Q_n}}.$$

Разделив числитель и знаменатель на  $m_{\text{общ}}$ , получим:

$$Q_{\text{ср}}^* = \frac{(l_{cm} - a) \sum_{i=1}^{k_\Phi} P_i \alpha_i + Q_n^\Phi \sum_{i=k_\Phi+1}^n \alpha_i}{\sum_{i=1}^k \alpha_i + \frac{(l_{cm} - a)}{Q_n} \sum_{i=k+1}^{k_\Phi} P_i \alpha_i + \frac{Q_n^\Phi}{Q_n} \sum_{i=k_\Phi+1}^n \alpha_i}. \quad (8)$$

В случае, когда весовая норма больше действующей —  $Q_n \geq Q_n^\Phi$  (рис. 2б), число полноразмерных поездов:

$$n_{nc} = \sum_{i=1}^{k_\Phi} m_i + \sum_{i=k_\Phi+1}^k \frac{Q_n^\Phi m_i}{P_i (l_{cm} - a)}.$$

А число полновесных поездов:

$$n_{ns} = \sum_{i=k+1}^n \frac{Q_n^\Phi m_i}{Q_n}.$$

Средний вес поезда брутто в таком случае будет равен:

$$Q_{\text{ср}}^* = \frac{A}{n_{nc} + n_{ns}} = \frac{\sum_{i=1}^{k_\Phi} P_i m_i (l_{cm} - a) + Q_n^\Phi \sum_{i=k_\Phi+1}^n m_i}{\sum_{i=1}^{k_\Phi} m_i + \sum_{i=k_\Phi+1}^k \frac{Q_n^\Phi m_i}{P_i (l_{cm} - a)} + \sum_{i=k+1}^n \frac{Q_n^\Phi m_i}{Q_n}}.$$

Разделив числитель и знаменатель на  $m_{\text{общ}}$ , получим:

$$Q_{\text{ср}}^* = \frac{(l_{cm} - a) \sum_{i=1}^{k_\Phi} P_i \alpha_i + Q_n^\Phi \sum_{i=k_\Phi+1}^n \alpha_i}{\sum_{i=1}^{k_\Phi} \alpha_i + \frac{Q_n^\Phi}{(l_{cm} - a)} \sum_{i=k_\Phi+1}^k \frac{\alpha_i}{P_i} + \frac{Q_n^\Phi}{Q_n} \sum_{i=k+1}^n \alpha_i}. \quad (9)$$

Таблица 2/ Table 2

Средний вес поезда при удлинении путей с 850 до 1050 м  
Average train length under elongation of tracks from 850 m to 1050 m

| Весовая норма при $l_{\text{ст}}=1050$ м, $Q_{\text{н}}$<br>Tonnage rating under $l_{\text{ст}}=1050$ m, $Q_{\text{н}}$ | Средний вес поезда при $l_{\text{ст}}=1050$ по формуле (2)<br>Average train weight under $l_{\text{ст}}=1050$ under formula (2) | Средний вес поезда по формулам (13), (16) при $l_{\text{ст}}=850$ м и $Q_{\text{н}}^{\Phi}$<br>Average train weight under formulas (13), (16) under $l_{\text{ст}}=850$ m and $Q_{\text{н}}^{\Phi}$ |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                                                                                                         |                                                                                                                                 | 3200                                                                                                                                                                                                | 3600 | 4000 | 4400 | 5500 |
| 6500                                                                                                                    | 4783                                                                                                                            | 4613                                                                                                                                                                                                | 4657 | 4702 | 4740 | 4783 |
| 6000                                                                                                                    | 4740                                                                                                                            | 4580                                                                                                                                                                                                | 4624 | 4667 | 4703 | 4740 |
| 5500                                                                                                                    | 4626                                                                                                                            | 4495                                                                                                                                                                                                | 4533 | 4571 | 4598 | 4626 |
| 5000                                                                                                                    | 4466                                                                                                                            | 4366                                                                                                                                                                                                | 4399 | 4426 | 4445 | 4466 |
| 4500                                                                                                                    | 4218                                                                                                                            | 4157                                                                                                                                                                                                | 4180 | 4198 | 4210 | 4218 |
| 4000                                                                                                                    | 3860                                                                                                                            | 3826                                                                                                                                                                                                | 3841 | 3850 | 3855 | 3860 |
| 3500                                                                                                                    | 3429                                                                                                                            | 3414                                                                                                                                                                                                | 3421 | 3425 | 3428 | 3429 |
| 3000                                                                                                                    | 2976                                                                                                                            | 2976                                                                                                                                                                                                | 2976 | 2976 | 2976 | 2976 |

Для сравнения результатов расчета по формуле профессора К. К. Тихонова (2) и формулам (8), (9) воспользуемся результатами расчетов, приведенных в [1, с.73]. Сравнительные данные приведены в таблице 1.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Расчет среднего веса поезда по формуле профессора К. К. Тихонова (2) и формулам (8), (9) совпадает в том случае, если исходная весовая норма, при которой собиралась статистика весов и длин грузовых поездов, соответствовала максимальной поездной погонной нагрузке (в таблице 1 это исходная весовая норма  $Q_{\text{н}}^{\Phi}=6500$  т). Полное совпадение также имеет место при очень низком значении весовой нормы — на уровне первого разряда гистограммы распределения поездных погонных нагрузок (в таблице — весовая норма 2500 т). Во всех остальных случаях результаты расчетов не совпадают.

2. Расхождение в расчете среднего веса поезда по формуле профессора К. К. Тихонова и формулам (8), (9) в значительной степени зависит от характера распределения поездных погонных нагрузок и действующей (исходной) весовой нормы. Так, например, при расчетной весовой норме 5500 т и действующей весовой норме 3000 т вес поезда по формуле профессора составляет 4624 т, а по предлагаемой формуле — 4410 т. Разница в расчете среднего веса поезда — 214 т или 4,8%.

3. Из формулы (8) как частный случай может быть получен вариант формулы (2).

Для этого нужно взять  $Q_{\text{н}}^{\Phi} = P_{\text{max}} (l_{\text{ст}} - a)$ . Тогда  $k_{\Phi} = n$  и формула (8) преобразуется в формулу (2).

### 3.

Формула профессора К. К. Тихонова использовалась при расчете среднего веса поезда при изменении длины станционных приемо-отправочных путей.

Для начала надо в формуле (2) изменить значение  $(l_{\text{ст}} - a)$  и поездную погонную нагрузку  $P_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{н}}}{(l_{\text{ст}} - a)}$ . Однако этого недо-

статочно, так как гистограмма распределения поездных погонных нагрузок строилась при существующей длине станционных приемо-отправочных путей  $l_{\text{ст}}^{\Phi}$  и действующей весовой норме  $Q_{\text{н}}^{\Phi}$ . Поэтому расчет перевозочной работы, числа полновесных и полносоставных поездов после удлинения путей будет иным, а следовательно, будет другой и формула, позволяющая рассчитывать средний вес поезда брутто после удлинения станционных путей.

Обозначим через  $P_{\text{н}}$  поездную погонную нагрузку, соответствующую весовой норме и новому стандарту длины станционных приемо-отправочных путей после их удлинения:

$$P_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{н}}}{(l_{\text{ст}} - a)},$$

а через  $P_{\text{н}}^{\Phi}$  — поездную погонную нагрузку, соответствующую действующим весовой норме и стандарту длины станционных путей:





$$P_n^\Phi = \frac{Q_n^\Phi}{(l_{cm}^\Phi - a)}.$$

Перевозочная работа, которая выполнялась при действующей весовой норме и стандарте длины станционных приемо-отправочных путей, составит:

$$A = \sum_{i=1}^{k_\Phi} P_i m_i (l_{cm}^\Phi - a) + Q_n^\Phi \sum_{i=k_\Phi+1}^n m_i. \quad (10)$$

Формула (10) отличается от формулы (5) лишь тем, что перевозочная работа определяется при существующем стандарте длины станционных приемо-отправочных путей, т. е. до их удлинения.

Если  $P_n \leq P_n^\Phi$ , то число полносоставных поездов после удлинения станционных путей будет (рис. 2а):

$$n_{nc} = \frac{\sum_{i=1}^k m_i (l_{cm}^\Phi - a)}{(l_{cm} - a)}. \quad (11)$$

Число полновесных поездов (рис. 2а) при весовой норме  $Q_n$ :

$$n_{na} = \sum_{i=k+1}^{k_\Phi} \frac{P_i (l_{cm}^\Phi - a) m_i}{Q_n} + \sum_{i=k+1}^n \frac{Q_n^\Phi m_i}{Q_n}. \quad (12)$$

Первое слагаемое определяет число полновесных поездов, которые до удлинения станционных путей были полносоставными. Второе слагаемое — число полновесных поездов при новой весовой норме  $Q_n$ .

Подставляя полученные в формулах (10–12) параметры в (4) и разделив числитель и знаменатель на общее  $m_{общ}$ , получим при  $P_n \leq P_n^\Phi$ :

$$Q_{op}^* = \frac{(l_{cm}^\Phi - a) \sum_{i=1}^{k_\Phi} P_i \alpha_i + Q_n^\Phi \sum_{i=k_\Phi+1}^n \alpha_i}{\frac{(l_{cm}^\Phi - a)}{(l_{cm} - a)} \sum_{i=1}^k \alpha_i + \frac{(l_{cm}^\Phi - a)}{Q_n} \sum_{i=k+1}^{k_\Phi} P_i \alpha_i + \frac{Q_n^\Phi}{Q_\Phi} \sum_{i=k_\Phi+1}^n \alpha_i}. \quad (13)$$

При  $P_n \geq P_n^\Phi$  (см. рис. 2б) число полносоставных поездов:

$$n_{nc} = \sum_{i=1}^{k_\Phi} \frac{(l_{cm}^\Phi - a) m_i}{(l_{cm} - a)} + \sum_{i=k+1}^k \frac{Q_n^\Phi m_i}{P_i (l_{cm} - a)}, \quad (14)$$

где первое слагаемое определяет число полносоставных поездов после удлинения станционных путей, а второе — число полносоставных поездов, которые до удлинения путей были полновесными.

Число полновесных поездов при весовой норме  $Q_n$ :

$$n_{na} = \sum_{i=k+1}^n \frac{Q_n^\Phi m_i}{Q_n}. \quad (15)$$

Подставив выражения (10), (14), (15) в формулу (4), получим при  $P_n \geq P_n^\Phi$ :

$$Q_{op}^* = \frac{(l_{cm}^\Phi - a) \sum_{i=1}^{k_\Phi} P_i \alpha_i + Q_n^\Phi \sum_{i=k_\Phi+1}^n \alpha_i}{\frac{(l_{cm}^\Phi - a)}{(l_{cm} - a)} \sum_{i=1}^{k_\Phi} \alpha_i + \frac{Q_n^\Phi}{(l_{cm} - a)} \sum_{i=k_\Phi+1}^k \frac{\alpha_i}{P_i} + \frac{Q_n^\Phi}{Q_\Phi} \sum_{i=k+1}^n \alpha_i}. \quad (16)$$

Результаты расчета среднего веса поезда по формуле (2) и формулам (13), (16) сведены в таблицу 2 при значениях параметров  $l_{ct}^\Phi - a = 800$  м,  $l_{ct} - a = 1000$  м.

Гистограмма распределения поездных погонных нагрузок и значения среднего веса поезда по формуле (2) взяты из работы [1, с. 73].

Данные таблицы 2 позволяют сделать следующие выводы:

1. Существующий до удлинения стандарт длины станционных приемо-отправочных путей и действующая до удлинения путей весовая норма оказывают влияние на расчетный вес поезда брутто, который будет после удлинения станционных путей. Например (см. таблицу 2), при весовой норме 5000 т и  $l_{ct} = 1050$  м по формуле (2) средний вес поезда — 4466 т. По предложенной формуле и весовой норме до удлинения путей  $Q_n^\Phi = 3200$  т средний вес поезда после удлинения — 4366 т. Разница расчетного среднего веса поезда — 100 т (2,3%).

2. Разница в расчете среднего веса поезда брутто по формуле (2) и формулам (13), (16) отсутствует лишь в случае, когда поезда погонная нагрузка, рассчитанная для весовой нормы до удлинения путей, максимальная. Если после удлинения путей весовая норма и соответствующая ей поезда погонная нагрузка находятся в пределах 2,0–3,5 т/м, то разница в расчете среднего веса поезда невелика. Например, для поезда при  $Q_n^\Phi = 3000$ –3500 т (таблица 2) эта разница не превышает 15 т (0,4%).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов К. К. Теоретические основы выбора оптимальных весовых норм грузовых поездов // Труды МИИТ. Вып. 331. — М.: Транспорт, 1970. — 197 с. ●