

## Лекция №2. Тормозные процессы. Продольно-динамические реакции в поезде.

### 1. Тормозные процессы и их характеристика.

Как уже было сказано ранее работа автоматических тормозов подразделяется на четыре процесса:

зарядка — воздухопровод (магистраль) и запасные резервуары под каждой единицей подвижного состава заполняются сжатым воздухом;

торможение — производится снижение давления воздуха в магистрали вагона или всего поезда для приведения в действие воздухораспределителей, и воздух из запасных резервуаров поступает в тормозные цилиндры; последние приводят в действие рычажную тормозную передачу, которая прижимает колодки к колесам;

перекрыша - изменения давления сжатого воздуха в магистрали не производится, при этом воздухораспределитель разобщает тормозной цилиндр и с запасными резервуарами и с атмосферой, таким образом изменения усилия прижатия колодок к колесам не происходит;

отпуск — давление в магистрали повышается, вследствие чего воздухораспределители выпускают воздух из тормозных цилиндров в атмосферу, одновременно производят подзарядку запасных резервуаров, сообщая их с тормозной магистралью.

В зависимости от характера протекания процессов торможения и отпуска, различают автоматические тормоза трех типов:

**мягкие** с равнинным режимом отпуска - работают при разных величинах зарядного давления в магистрали; при медленном темпе снижения давления (до 0,3—0,5 кгс/см<sup>2</sup> в мин) в действие не приходят (не затормаживают), а после торможения при повышении давления в магистрали на 0,1—0,3 кгс/см<sup>2</sup> дают полный отпуск (ступенчатого отпуска не имеют);

**полужесткие** с горным режимом отпуска — обладают теми же свойствами, что и мягкие, но для полного отпуска необходимо восстановление давления в магистрали на 0,1—0,2 кгс/см<sup>2</sup> ниже зарядного (имеют ступенчатый отпуск);

**жесткие** - работающие на определенном зарядном давлении в магистрали; при снижении давления в магистрали ниже зарядного любым темпом производят затормаживание. При давлении в магистрали выше зарядного тормоза жесткого типа не приходят в действие пока давление не станет ниже зарядного. Отпуск жестких тормозов происходит при восстановлении давления в магистрали на 0,1-0,2 кгс/см<sup>2</sup> выше зарядного. Тормоза жесткого типа применяются на участках с уклонами круче 45‰.

Для того чтобы осуществить торможение, надо привести в действие воздухораспределитель, для чего необходимо понизить давление в тормозной магистрали на заданную величину определенным темпом.

Чувствительностью воздухораспределителя называют величину падения давления воздуха у данного воздухораспределителя заданным темпом, при которой происходит срабатывание прибора на торможение.

Темпом называется скорость изменения давления.

Различают следующие темпы изменения давления в тормозной магистрали:

Темп мягкости (разрядка): это такой темп снижения давления в тормозной магистрали при котором тормоза в действие не должны приходиться. Темп мягкости составляет 1кгс/см<sup>2</sup> в 120-300 сек. Т.е. при этом темпе давление в магистрали снижается с 5 до 4 кгс/см<sup>2</sup> за 120 – 300сек.

Темп служебного торможения это такой темп, при котором тормоза срабатывают на служебное торможение, применяемое для регулирования скорости движения поезда и остановки его в определенном месте. При темпе служебного торможения снижение давления в тормозной магистрали с 5 до 4-х кгс/см<sup>2</sup> происходит 2,5-10 сек (0,1-0,4 кгс/см<sup>2</sup> в сек). Для более быстрого распространения торможения по поезду каждый

воздухораспределитель производит дополнительную разрядку тормозной магистрали на 0,2-0,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Темп экстренного торможения это темп, используемый для немедленной остановки поезда. При этом темпе давление в тормозной магистрали снижается с 5 до 4-х кгс/см<sup>2</sup> не более чем за 1,2 сек (0,8 кгс/см<sup>2</sup> в сек). При этом происходит экстренное торможение с разрядкой тормозной магистрали не менее чем на 1,5 кгс/см<sup>2</sup> специальным ускорителем экстренного торможения на пассажирских вагонах.

Снижение давления в магистрали различными темпами показано на рисунке 1.

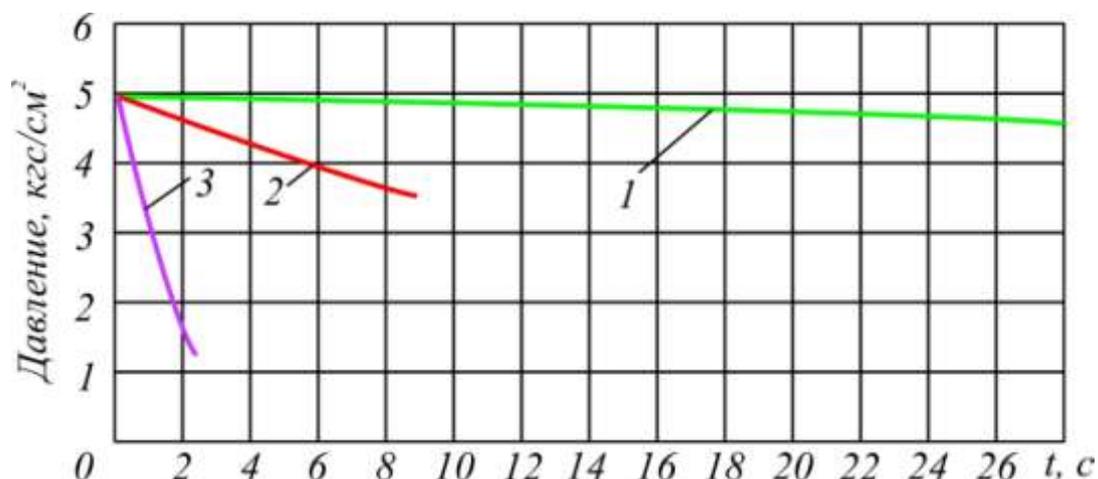


Рисунок 1. Индикаторная диаграмма темпов понижения давления в тормозной магистрали:

1 – темп мягкости; 2 – темп служебного торможения; 3 – темп экстренного торможения.

*Воздушная волна.* Воздушная волна представляет собой импульс начала движения частиц газа в трубопроводе после того, как будет открыто сообщение тормозной магистрали с атмосферой. Скоростью распространения воздушной волны (в м/с) называют скорость распространения данного импульса по тормозной магистрали, она практически равна скорости звука в данной газовой среде и зависит в основном от температуры газа. Для воздуха скорость распространения воздушной волны может быть определена по формуле:  $v_B = 20 \cdot \sqrt{T}$ ;

где  $T=273+t^\circ C$  – абсолютная температура газа.

*Тормозная волна.* Одной из важных качественных характеристик тормозной системы, в значительной степени, влияющей на продольные усилия в поезде при торможении, является скорость распространения тормозной волны.

Скоростью распространения тормозной волны  $v_T$  называется частное от деления длины тормозной магистрали ( $L$ ) поезда на время  $t_T$  от момента поворота ручки крана машиниста в тормозное положение до начала появления давления в тормозном цилиндре

последнего вагона:  $v_T = \frac{L}{t_T}$ .

Скорость распространения тормозной волны зависит от чувствительности и конструктивных особенностей воздухораспределителей, аэродинамического сопротивления тормозной магистрали, зарядного давления и температуры окружающего воздуха. Так, если при температуре 0°С скорость распространения тормозной волны составляет 250 м/с, то при -30° С она будет около 210 м/с, а при + 30° С около 275 м/с. Чем выше зарядное давление в магистрали, тем больше скорость распространения тормозной волны. При увеличении вредных объемов магистрали (отводы к воздухораспределителям, стоп-кранам и т. п.) скорость распространения тормозной волны

понижается. По международным требованиям скорость распространения тормозной волны должна быть не менее 250 м/с, в новейших тормозах она достигает 300 м/с.

Отпускная волна. Время с момента постановки ручки крана машиниста в отпускное положение до начала выпуска воздуха воздухораспределителем из тормозного цилиндра называется временем распространения отпускной волны  $t_o$ .

Скоростью распространения отпускной волны  $v_o$  называется частное от деления длины тормозной магистрали  $L$  на время распространения отпускной волны  $t_o$ :  $v_o = \frac{L}{t_o}$

Скорость распространения отпускной волны зависит от величины давления воздуха в главном резервуаре при отпуске, размера проходного сечения канала в кране машиниста и времени сообщения главного резервуара с тормозной магистралью, величины сопротивления воздухопровода, утечек воздуха из магистрали и тормозных цилиндров и темпа подзарядки запасных резервуаров при отпуске. Скорость распространения отпускной волны техническими требованиями не оговаривается.

## 2. Индикаторная диаграмма наполнения и отпуска тормозного цилиндра одного вагона.

Индикаторная диаграмма торможения и отпуска одного вагона представлена на рисунке 2, где  $t_1$  — время от момента постановки ручки крана машиниста в тормозное положение до поступления воздуха в тормозной цилиндр;  $t_2$  — время поступления воздуха в тормозной цилиндр до прижатия тормозных колодок к колесам (время выхода штока);  $t_H$  — время наполнения тормозного цилиндра до 95% максимального давления в нем (обычно до 3,5 кгс/см<sup>2</sup>) и  $t_o$  — время отпуска от начала выпуска воздуха из тормозного цилиндра до давления в нем 0,45 кгс/см<sup>2</sup>. От времени и характера диаграммы наполнения тормозных цилиндров во многом зависит длина тормозного пути и величина возникающих при торможении продольных усилий в поезде.

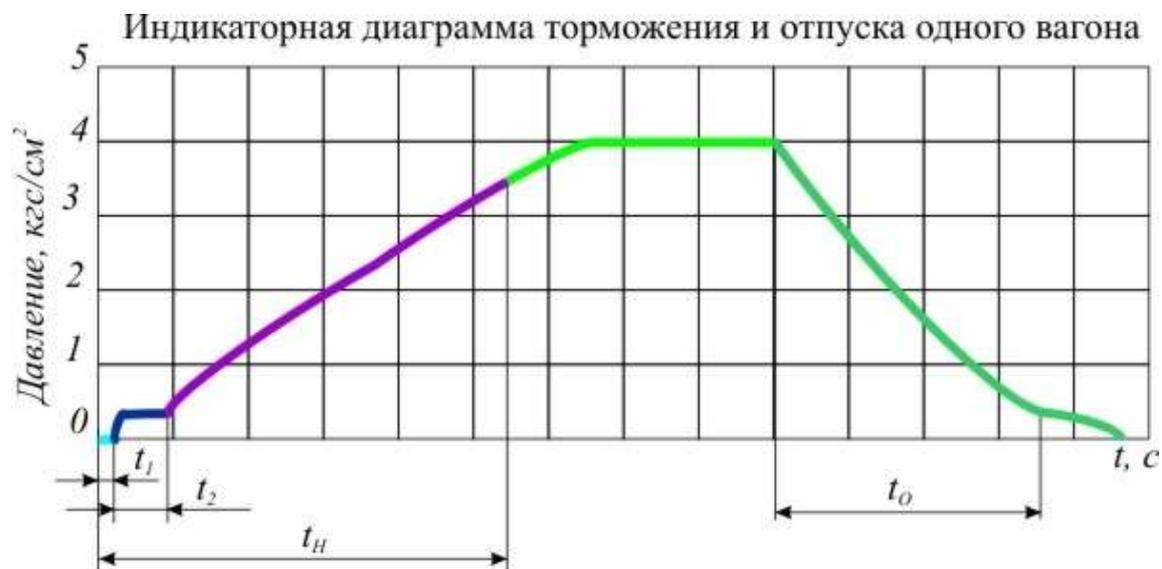


Рисунок 2. Индикаторная диаграмма торможения и отпуска тормозного цилиндра одного вагона.

В тормозах пассажирского типа время наполнения тормозных цилиндров при воздушном управлении до давления в них 3,5 кгс/см<sup>2</sup> устанавливается за 5-7 с, а при электрическом - 3-4 с; в тормозах грузового типа за 15-20 с.

Для обеспечения достаточно плавного торможения поезда без снижения эффективности тормозной силы в момент начала торможения хвостового вагона давление в тормозном цилиндре головного вагона должно быть примерно не более  $1,0 \text{ кгс/см}^2$ .

Время отпуска тормоза одного вагона принято: пассажирского 9—12 с, грузового на равнинном режиме 20—60 с и на горном 40—60 с, вагона электропоезда при электрическом управлении в среднем 4 с.

### 3. Фазы торможения.

Развитие тормозной силы в поезде при полном служебном или экстренном торможении характеризуется четырьмя фазами в соответствии с диаграммой наполнением тормозных цилиндров сжатым воздухом в функции времени по длине поезда (рисунок 3).

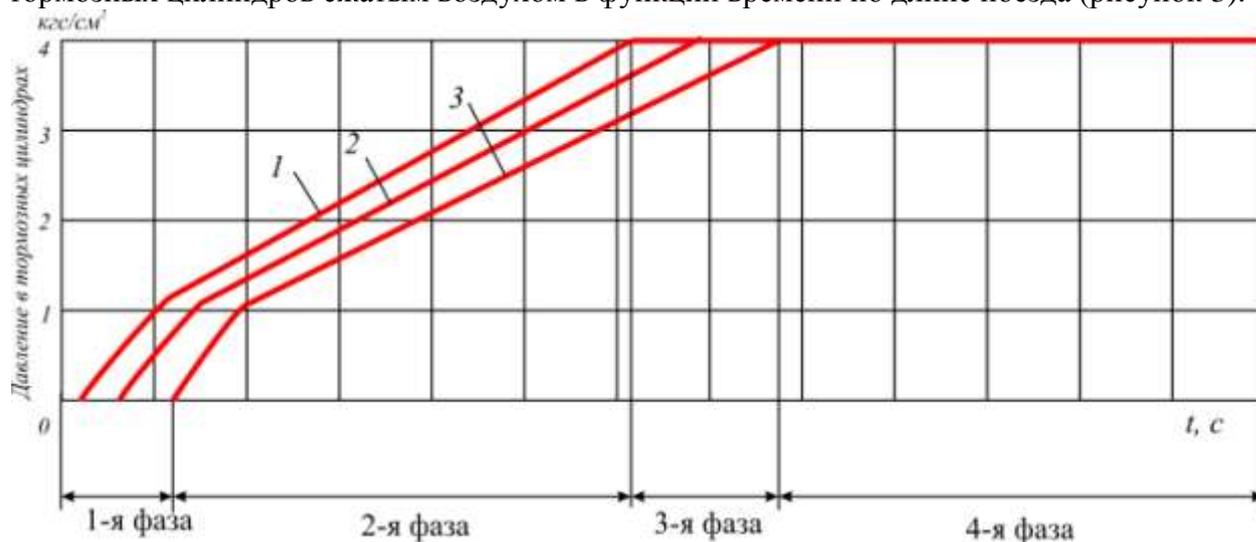


Рисунок 3. 1-график изменения давления в тормозном цилиндре первого вагона; 2 – график изменения давления в тормозном цилиндре промежуточного вагона; 3 – график изменения давления в тормозном цилиндре хвостового вагона.

Характеристика фаз торможения:

**1-я фаза.** С момента поворота рукоятки крана машиниста в тормозное положение начинают последовательно вступать в действие тормоза отдельных вагонов, начиная с головы поезда, вплоть до хвостового. В головной части магистрали темп падения давления в магистрали самый большой и воздухораспределитель головного вагона приходит в действие на торможение практически мгновенно. Затем приходят в действие воздухораспределители следующих вагонов, но чем дальше они отстоят от крана машиниста, тем дольше они не приходят в действие, так как темп падения давления по мере удаления от крана машиниста, через который воздух из тормозной магистрали выходит в атмосферу, становится все меньше. Время, в течение которого в действие вступают тормоза последнего вагона, зависит от скорости распространения тормозной волны по поезду, которая, в свою очередь, зависит от конструкции и характеристик тормозных приборов (главным образом воздухораспределителей), от характеристик трубопроводов, температуры и влажности воздуха, наличия отростков и других вредных объемов в тормозной магистрали.

Таким образом, **1-я фаза** – это процесс распространения тормозной волны по поезду. Она характеризуется временем от момента поворота рукоятки крана машиниста в тормозное положение до момента начала работы тормозного прибора последнего вагона.

Во время 1-ой фазы тормозная сила первого вагона достигает какой-то определенной величины (максимальной для вагонов поезда в данный момент). По мере удаления от головы поезда тормозная сила вагонов становится все меньше и у

последнего вагона в момент окончания 1-ой фазы она равна нулю (торможение последнего вагона только начинается).

Из-за того, что тормозная сила каждого предыдущего вагона больше тормозной силы последующего вагона, в поезде происходит набегание последующих вагонов на предыдущие, сжатие сцепных приборов вагонов, что приводит к возникновению продольных сжимающих усилий в поезде. В этой фазе происходит наибольшее сжатие поезда. Иногда это сжатие продолжается еще и в начале второй фазы.

**2-я фаза.** Одновременное параллельное, иногда же не параллельное, а с некоторым отставанием в хвосте, наполнение тормозных цилиндров сжатым воздухом при разных давлениях в них, образовавшихся в момент первой фазы. В этой фазе поезд остается сжатым.

**3-я фаза.** Последовательное окончание наполнения тормозных цилиндров от головы до хвоста поезда.

Давление в тормозных цилиндрах от первого до последнего вагона поезда начинает выравниваться, достигая максимальной величины, и в конце фазы становится одинаковым во всем поезде. (Но это, конечно, в том случае, если у каждого вагона удельная тормозная сила одинакова).

Если в начале этой фазы поезд еще был сжат ввиду разницы давлений в тормозных цилиндрах, то в конце этой фазы он приходит в свободное состояние вследствие постепенного и полного выравнивания этих давлений, следовательно, и отсутствия разницы в тормозных силах. Ранее сжатые поглощающие аппараты автосцепок в 3-ей фазе дают последовательную «отдачу» – полную или частичную – в зависимости от типа аппарата, то есть по мере выравнивания тормозных сил по поезду накопленная в пружинах сцепных устройств и в вагонных рамах упругая энергия сжатия превращается в кинетическую энергию масс отдельных вагонов.

**4-я фаза.** В этой фазе никакой разницы в действии тормозов нет. Все они дают торможение максимальной силы, которое поддерживается до тех пор, пока поезд не остановится или пока машинист не произведет отпуска. В 4-ой фазе при равномерном распределении по поезду удельной тормозной силы никаких реакций в сцепных приборах не будет. В случае неравномерного распределения возникнут реакции сжатия или растяжения.

Относительно низкая скорость прохождения тормозной волны в воздушной магистрали, составляющая около 250 ... 270 м/с, потребовала внедрения целого ряда мероприятий, направленных на снижение продольных сил, действующих в поезде. Эти мероприятия, в основном, были направлены на увеличение времени торможения (наполнения тормозного цилиндра) и отпуска (времени снижения давления в тормозном цилиндре), в результате чего время реакции системы регулирования становится больше времени прохождения тормозной волны по воздушной магистрали. Следствием этого является увеличение инерционности всей тормозной системы в целом, что увеличивает длину тормозного пути и приводит к снижению допустимой скорости движения.