Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени Горного института. Том XXIV, 1950 г.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОВОЗНОЙ ОТКАТКИ

Доц. *А. В. Рысьев*

Общие положения

Обычные методы расчетов рудничной электровозной откатки весьма просты, удобны для эксплоатационных расчетов и для выбора элементов при проектировании. При некоторых допущениях в общепринятых тяговых расчетах они становятся совсем элементарными. Весьма упрощается тяговый расчет с введением так называемого уклона равного сопротивления, т. е. такого уклона пути, при котором сила тяги при движении электровоза в грузовом и порожняковом направлениях одинакова. Элементарным становится расчет проверки тяговых двигателей по нагреву, если допустить, что сила тока прямо пропорциональна силе тяги двигателя. Вносятся также значительные упрощения в расчеты по определению элементов питающих сетей, преобразовательных подстанций и по расходу энергии.

Простота вычислений является достоинством существующих методов расчета подземной электровозной откатки, тем более, что в большинстве случаев эти допущения и упрощения незначительно влияют на точность расчета. Однако в ряде случаев существующие расчеты неполны и не дают окончательного ответа. В частности, это наблюдается в тяговых расчетах.

В задачу тяговых расчетов входит определение элементов подвижного состава электровозной откатки — величины состава поезда и сцепного веса электровоза.

Обычные методы расчетов позволяют определить максимальную величину состава поезда при данном сцепном весе электровоза. При этом ориентировочно задаются сцепным весом электровоза и по известным конструктивным ограничениям его определяют максимально допустимую величину состава поезда. При таком расчете определяемая величина состава поезда не зависит от длины и производительности откатки, а учитывает главным образом особенности электровоза. Однако практически наиболее рентабельной величиной состава поезда является не максимальная величина, что также обстоятельно доказано в ряде научных статей. Учитывая это, инженеры-производственники при решении этих вопросов обычно пользуются данными практики работы электровозов в аналогичных условиях. Формулами расчета пользуются лишь для проверки максимально допустимой величины состава для данного электровоза.

Максимальная величина состава определяется из следующих трех условий: 1) пуск электровоза в ход на подъем с грузом на преобладающем уклоне; 2) торможение электровоза при ходе с грузом под уклон; 3) допустимое нагревание тяговых двигателей при работе.

По первому условию величина состава поезда определяется по формуле [1]:

$$P_с + Q_{гр} = \frac{1000\,\psi\,P_с}{W'_{гр} + W_i + 110\,J_0}\,m, \qquad (1)$$

где $P_с$ — сцепной вес электровоза, *т*;
$Q_{гр}$ — вес груженого состава поезда, *т*;
ψ — коэфициент сцепления колес электровоза с рельсами, принимаемый равным 0,25;
$W'_{гр}$ — пусковое сопротивление движению груженой вагонетки, *кг/т*;
W_i — величина сопротивления от уклона пути;
J_0 — пусковое ускорение, принимаемое равным 0,03—0,05 *м/сек²*.

Определение величины состава поезда из условий торможения производится по формуле [1]:

$$P_с + Q_{гр} = \frac{1000\,\psi\,P_т}{110\,J_т - W_{гр} + W_i}\,m, \qquad (2)$$

где ψ рекомендуется брать 0,2;
$W_{гр}$ — ходовое сопротивление движению груженой вагонетки, *кг/т*;
$J_т$ — тормозное ускорение, определяемое из условий, предписанных правилами технической эксплоатации угольных шахт [1]:

$$J_т = \frac{v_т^2}{2l_т}\ м/сек^2, \qquad (3)$$

где v — скорость движения поезда в начале торможения (рекомендуется брать равной длительной скорости);
$l_т$ — путь торможения (не должен превышать 40 *м*).

Определение величины состава поезда из условий допустимого нагрева тяговых двигателей рекомендуется производить по следующей формуле [1]:

$$P_с + Q_{гр} = \frac{F_{дл}}{\alpha\sqrt{\tau}\ (W_{гр} - i_{р.с})}\,m, \qquad (4)$$

где $F_{дл}$ — длительная сила тяги электровоза, *кг*;
α — коэфициент, учитывающий работу двигателей во время маневров (величина его рекомендуется при длине откатки до 1 *км* 1,25, от 1 до 1,5 *км* 1,2, от 1,5 до 2 *км* 1,15 и при длине свыше 2 *км* 1,1);
$i_{р\cdot с}$ — уклон равного сопротивления в тысячных;
τ — характеристика тягового режима, которая определяется отношением времени движения электровоза под током к общему времени рейса:

$$\tau = \frac{T_{дв}}{T_{дв} + \theta}\ . \qquad (5)$$

В данном случае с вполне достаточной точностью рекомендуется определять время движения по формуле:

$$T_{дв} = \frac{2L}{60\,v_х}\ мин., \qquad (6)$$

где L — длина откатки, *м*;
$v_х$ — средняя ходовая скорость движения электровоза, принимаемая равной 0,75 от длительной скорости;
θ — длительность паузы (рекомендуется принимать в среднем порядка 20 мин.).

В настоящее время наши заводы выпускают четыре типа контактных откаточных рудничных электровозов (табл. 1).

Таблица 1

Основные технические данные советских контактных электровозов откаточного типа

Наименование величин	Тип электровоза			
	П-ТР-1	П-ТР-2 П-ТР-3	Ю-10-600 Ю-10-900	IV-ТР-4
Ширина колеи, *мм*	475—525	550—600 и 750—900	600 и 750—900	900
Полный вес электровоза, *т*	6,5	6,5—7	10	14
Часовая сила тяги электровоза, *кг*	980	1460	1460	2680
Длительная сила тяги, *кг*	350	370	370	650
Длительная скорость электровоза, *м/сек*	3,33	4,44	4,44	5,27
Полная стоимость электровоза, руб.	35000	40000	40000	60000[1]
Годовые отчисления на ремонт и амортизацию электровозов, руб.	6100	6100	6980	10450

Примечание. Срок службы электровозов в среднем принят 12 лет, годовые амортизационные отчисления 8,5% и отчисления на капитальный ремонт 9% от стоимости электровоза[2].

Имея в виду, что по приведенным выше формулам определение величины состава не зависит от производительности участков, а длина откатки на шахтах колеблется от 500 до 5000 *м*, находим максимально допустимые величины составов для приведенных в табл. 1 электровозов.

При расчетах принимаем $W_{гр} = 6$ *кг/т*; $W'_{гр} = 8$ *кг/т*; $i = 3‰$. Результаты расчетов вносим в табл. 2.

Таблица 2

Максимально допустимые значения состава поезда для различных типов контактных электровозов

Условия, ограничивающие величину состава поезда	Тип электровоза			
	П-ТР-1	П-ТР-2 П-ТР-3	Ю-10-600 Ю-10-900	IV-ТР-4
Пуск электровоза на подъем с грузом	106	114	187	261
Замедление с торможением на длине тормозного пути, не превышающей 40 *м*	114	58	82,5	80,5
Допустимая величина нагрева тяговых двигателей при длине откатки 500 *м*	188	232	220	414
Допустимая величина нагрева тяговых двигателей при длине откатки 5000 *м*	115	125	117	239

Как видно из табл. 2, для одного и того же электровоза максимальная величина состава по разным ограничениям получается весьма различной, но одинаково для всех она весьма большая.

[1] Справочник неизменных цен 1926—1927 гг., принимаемых в угольной промышленности СССР, НКУП СССР.

[2] Е. В. Люлько. Сметы на капитальные горные выработки, Углетехиздат, 1946, стр. 19.

Минимальный состав для электровоза П-ТР-1 (106 *т*) определяется ограничением по сцепному весу при пуске на подъем. Однако практически для узкой колеи (525 *мм*) и однотонных вагонов и эта величина состава является слишком большой, в связи с чем для этих электровозов реальную величину состава приходится устанавливать чисто практическим путем. Как видно из таблицы, для всех других более быстроходных электровозов главным ограничительным условием служит замедление поезда с торможением на длине пути, не превышающей 40 *м*. Естественно, чем больше скорость движения, чем больше живая сила движущегося состава поезда, тем труднее выполнить это условие тормозными средствами только самого электровоза. Однако это ограничение не является абсолютным: оно может быть снято, если в числе вагонов имеются тормозные вагонетки с действующими тормозами. Другие же ограничения для этих электровозов также дают нереально большую величину состава. Таким образом, и для других электровозов мы по формулам не можем получить окончательного ответа при выборе величины состава. Если при этом ориентироваться на ограничение величины состава по тормозным средствам только самого электровоза, считая нежелательным иметь в составе специальные тормозные вагоны, мы также не получаем удовлетворительного решения вопроса.

При величине состава, ограниченной тормозными средствами электровозов (58 *т* для электровоза П-ТР-2 и П-ТР-3; 82,5 *т* — для Ю-10 и 80,5 *т* — для электровозов IV-ТР-4) получим такие большие скорости равномерного хода, а следовательно, скорости в начале торможения, при которых невозможно произвести замедление на длине пути в 40 *м* и тем самым выполнить условие правил технической эксплоатации угольных шахт. При этих более высоких скоростях, чем скорости, которыми мы задавались в предварительном расчете, потребуется большой путь для замедления. С целью повторной проверки условий, ограничивающих величину состава по тормозным средствам электровоза, по известной формуле определяем величину силы тяги электровозов при равномерном ходе [1]:

$$F_2 = (P_c + Q_{гр})\,(W_{гр} - i_{р.с})\ кг, \qquad (7)$$

где $P_c + Q_{гр}$ — величина состава, определенная ограниченным по тормозным средствам.

Затем по характеристикам тяговых двигателей для данных электровозов устанавливаем величину скорости равномерного хода, отвечающую найденным по формуле усилиям. Тогда при новых скоростях v_2 длина тормозного пути определяется по формуле [1]:

$$l_т = \frac{v_2^2}{2J_т}. \qquad (8)$$

Все расчеты, произведенные по формулам (7) и (8), помещены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, путь торможения при замедлении, за исключением электровоза П-ТР-1, получается больше 40 *м*, т .е. формула (2) дает удовлетворительное решение лишь для одного тихоходного электровоза.

Для него же, как мы установили выше, главным ограничением величины состава является пуск на подъем с грузом (106 *т*).

Для остальных трех типов электровозов для выполнения условия замедления на длине 40 *м* потребовалось бы еще уменьшить величину

Таблица 3

Сводная таблица повторной проверки величины состава поезда по тормозным средствам электровозов

Наименование величин	Тип электровоза			
	П-ТР-1	П-ТР-2 П-ТР-3	Ю-10-600 Ю-10-900	IV-ТР-4
Максимально допустимая величина состава поезда по тормозным средствам электровоза, определенная по формуле (2), *т*	114	58	82,5	80,5
Величина сила тяги равномерного хода электровоза, *кг*	342	174	248	242
Величина скорости равномерного хода при данной силе тяги, *м/сек*	3,2	5,54	5,55	6,95
Необходимая длина тормозного пути для замедления при данной скорости, *м*	39	62	62	70

состава поезда, что вызвало бы дальнейшее увеличение скорости равномерного хода и, как следствие, увеличение длины тормозного пути. Из табл. 3 следует, что и при этих величинах составов электровозы будут загружены весьма неполно, и всякое дальнейшее уменьшение величины состава вряд ли будет целесообразно.

Таким образом, из краткого анализа существующих методов теоретического определения элементов подвижного состава электровозной откатки следует:

1) расчетные формулы дают возможность при известных электровозах и вагонах определить максимально допустимую величину состава по условиям пуска электровоза в ход с грузом на подъем и по нагреву тяговых двигателей;

2) окончательный выбор оптимальной величины состава должен производиться на основе данных практики или технико-экономического сравнения, так как максимально допустимые величины составов являются неприемлемо большими;

3) проверка величины состава по тормозному пути не дает удовлетворительного решения ни для одного из контактных электровозов; для электровоза П-ТР-1 величина состава слишком велика, а для других быстроходных электровозов (при заданных условиях) слишком мала.

Новый метод определения элементов подвижного состава подземной электровозной откатки

В горном деле все шире находит применение аналитический способ решения вопросов на основе технико-экономических сравнений. Решение вопросов на основе технико-экономического сравнения является идеальным по существу, но иногда весьма сложным по форме. В настоящее время этим методом часто решаются вопросы, касающиеся способа вскрытия месторождений, рентабельности ведения горных работ открытым способом, выбора схемы транспорта и др. Элементы технико-экономического сравнения применяются и в расчетах по электровозной откатке для горных разработок. Однако при этом получается слишком сложный предварительный расчет вариантов или

слишком грубое неполное сравнение отдельных зависимых величин, а главное, несмотря на хорошую методику, этот метод не получил должного распространения [4, 5].

Для подземной электровозной откатки технико-экономическое сравнение, очевидно, является одним из правильных решений ряда вопросов. Как видно из анализа применяющихся методов определения элементов подвижного состава, мы имели возможность установить лишь максимально допустимые величины составов, которые способен возить электровоз. Однако практически доказано [4], что почти всегда для условий подземной электровозной откатки рентабельной является величина состава, значительно меньшая максимально допустимой. Известно, что длинный состав, при прочих равных условиях, требует на большой длине уширения горных выработок на разминовках, а также длинных выработок рудничного двора.

Большая величина состава значительно снижает скорость движения электровозов, оборудованных сериесными двигателями; при этом также увеличиваются потери в пусковых реостатах в период разгона.

С увеличением состава поезда значительно увеличивается общий вагонный парк по шахте. Таким образом, увеличение состава поезда, несмотря на уменьшение числа электровозов и поездных бригад, при некоторых условиях может вызвать лишь увеличение расходов, связанных с электровозной откаткой. Оптимальная величина состава при этих условиях может быть определена только на основе технико-экономических сравнений.

С целью популяризации и для более широкого применения нового метода выбора элементов подвижного состава для подземной откатки, основанного на технико-экономическом сравнении, нами ставится задача по возможности полнее учесть все изменяющиеся элементы электровозной откатки в зависимости от величины состава при максимальном упрощении методики пользования этим расчетом. Необходимо, чтобы выбор элементов подвижного состава в первую очередь определялся условиями эксплоатации его на данной шахте или на данном месторождении, т. е. производительностью участков, длиной откатки, системой работ или числом погрузочных пунктов, стоимостью проходки и поддержания горных выработок, стоимостью рабочей силы и энергии и др.

Все вышеперечисленные элементы, от которых зависит сцепной вес электровоза, количество и величина состава и которые сами, в свою очередь, изменяются с изменением элементов подвижного состава, будут в различной степени влиять на выбор емкости состава. Некоторые из них, например, длина и производительность электровозной откатки, стоимость элементов подвижного состава, заработная плата поездных бригад, стоимость проходки и поддержания горных выработок рудничного двора и разминовок, будут значительно изменяться с изменением величины состава, а следовательно, существенно влиять на выбор элементов подвижного состава. Другие факторы (сечение контактного провода, мощность преобразовательных подстанций) могут изменяться сравнительно мало, а следовательно, их влияние на выбор величины состава поезда будет менее существенно.

Для того чтобы учесть все существенные и несущественные факторы, влияющие на выбор элементов подвижного состава, рассматриваем каждую зависимость отдельно. Выявляем при этом пределы изменения отдельных зависимостей в годовых расходах. Несущественные факторы по возможности учитываем средними величинами. В общую

зависимость их не вводим, чтобы не усложнять расчетов без особой надобности. По всем отдельным зависимостям строим общую зависимость стоимости электровозной откатки как функции многих переменных при различной величине состава поезда. Очевидно, минимальная величина этих расходов при данных конкретных условиях и будет определять искомую оптимальную величину состава поезда.

1. Необходимое число электровозов в зависимости от величины состава поезда. Необходимое число электровозов в зависимости от производительности и длины откатки при данной полезной емкости состава может быть определено по формуле:

$$N = \frac{M T_{\text{р}}}{3600 Q_{\text{п}}} \text{ шт.}, \tag{9}$$

где M — часовая производительность участка, *т/час*;

$T_{\text{р}}$ — длительность полного рейса электровоза, сек.;

$Q_{\text{п}}$ — полезная емкость состава поезда, *т*.

При изменении величины состава, а следовательно, изменении величины полезной емкости, одновременно будет изменяться и время рейса. При легком составе ускорения при пуске и замедлении (а также скорость движения при равномерном ходе) будут больше, а следовательно, время рейса будет мало. При тяжелом составе по этим же причинам время рейса увеличится.

Считаем, что ускорения в период разгона и в период замедления постоянны и равны друг другу и что скорости равномерного хода грузового и порожнякового направлений одинаковы по своей величине, что бывает при уклонах равного сопротивления. При этих условиях время рейса может быть выражена следующей формулой:

$$T_{\text{р}} = \frac{2L}{v} + \frac{2v}{J} + \theta \text{ сек.}, \tag{10}$$

где L — длина откатки, *м*;

v — скорость равномерного хода электровоза *м/сек*;

J — ускорение при пуске и замедлении, *м/сек*^{2};

θ — время паузы, включая маневры электровоза, сек.

Тогда формула для определения числа электровозов в зависимости от величины состава примет вид:

$$N = \frac{M\left(\frac{2L}{v} + \frac{2v}{J} + \theta\right)}{3600 Q_{\text{п}}} \text{ шт.} \tag{11}$$

По выведенной формуле на конкретных примерах устанавливаем характер и возможные пределы изменения числа электровозов при разных значениях величины состава. Для электровозов откаточного типа принимаем длину откатки от 500 до 5000 *м*.

Производительность берем, рекомендованную проектными организациями для разных типов электровозов, в интервале от 100 тыс. *т* годовой производительности и до 1 млн. *т* в год, причем электровозы с цепным весом 6,5—7 *т* ориентируем на шахты с производительностью от 700 до 1000 *т* в сутки, 10-тонные электровозы — на шахты с производительностью 1700—2000 *т* в сутки и для крупных шахт с производительностью 3000—3300 *т* в сутки принимаем 14-тонные электровозы и вагоны большой емкости.

Для производства анализа зависимости $N = f(Q_{\text{п}})$ задаемся различными значениями величины ускорения, как при непрерывной функ-

ции в пределах от 0,01 до 0,4 *м/сек²*. Затем из условий нормального разгона на площадке при часовой силе тяги определяем величину состава поезда по следующей формуле:

$$P_c + Q_{гр} = \frac{F_ч}{W_0 + 110\,J} m, \qquad (12)$$

где $F_ч$ — часовая сила тяги электровоза, *кг*;

W_0 — удельное сопротивление движению, для роликовых подшипников принимаемое 6 *кг/т*.

По найденной величине состава находим силу тяги равномерного хода по формуле:

$$F = (P_c + Q_{гр})\,(W_0 - i_{р.с})\ кг, \qquad (13)$$

где $i_{р.с}$ — уклон пути равного сопротивления в тысячных.

Затем по найденной силе тяги определяем из характеристик тяговых двигателей соответствующие им скорости движения равномерного хода. Скорости же дают возможность определить длительность рейса электровоза при данном составе поезда, отвечающем тому или иному заданному ускорению.

Полезная емкость состава определяется из общего веса состава вычитанием веса самого электровоза и веса порожних вагонов. Для простоты вычислений длительность паузы принята постоянной и равной 20 мин. При вычислениях для 6,5—7-тонных электровозов приняты 1-тонные вагоны, вес порожнего вагона 0,7 *т*; для 10-тонных электровозов были приняты 2-тонные вагоны с порожним весом 1,1 *т* и для 14-тонных электровозов — 3-тонные вагоны, порожний вес которых равен 1,5 *т*.

Все вычисления зависимости $N = f(Q_п)$ сведены в табл. 4.

Из расчетных таблиц видно, что чем больше величина ускорений и меньше состав поезда, тем большее число электровозов требуется для данной производительности и длины откатки. В принятом интервале изменений величины состава поезда в восемь-десять раз число электровозов изменяется примерно в четыре раза. В такой же пропорции будут изменяться годовые отчисления на ремонт и амортизацию электровозов. Характер изменения числа электровозов не является прямолинейным. При очень малых значениях ускорений длительность полного рейса становится настолько большой, что при дальнейшем увеличении состава число электровозов будет возрастать. Минимум числа электровозов наступает при весьма малых значениях ускорений, а следовательно, при ненормально больших величинах составов. Например, для электровоза П-ТР-1 минимум наступает при $J = 0{,}03$ *м/сек²* при величине состава 105 *т*. Для других электровозов этот минимум наступает еще при меньших значениях величины ускорений (порядка 0,01 *м/сек²*), а следовательно, еще при больших составах поезда.

Таким образом, отдельно взятая эта зависимость не дает возможности решить поставленный вопрос по выбору величины состава. Она лишь указывает на характер и величину изменений капитальных затрат на электровозы при изменении величины состава. Как видно из табл. 4, эти изменения являются весьма существенными, поэтому они должны быть учтены в общей зависимости.

2. Число необходимых поездных бригад в зависимости от величины состава поезда. Для каждого электровоза потребуется столько бригад, сколько имеется смен работы электровоза плюс подсменные бригады. Число поездных бригад прямо пропорционально числу электровозов. Та-

Таблица 4

Результаты вычислений числа электровозов в зависимости от величины состава поезда

Наименование величины	Тип электровоза	Величина ускорений							
		0,4	0,3	0,2	0,1	0,08	0,05	0,03	0,01
Вес состава поезда, *т*	П-ТР-1	19,7	25,2	35	57,5	65,5	84,5	105	136
	П-ТР-2	29,2	30,4	45	78,6	91,2	120	150	199
	Ю-10-900	29,2	37,4	52	85,6	98,2	127	157	206
	IV-ТР-4	53,6	68,7	95,6	158	181	233	288	377
Вес полезного ископаемого в составе, *т*	П-ТР-1	8	11	17	30	35	50	63	76
	П-ТР-2	12,5	17,9	26,5	46,2	53,5	70	88	117
	Ю-10-900	12	18	26	48	56	76	94	126
	IV-ТР-4	33	36	54	96	111	144	183	243
Сила тяги равномерного хода, *кг* . .	П-ТР-1	119	152	210	345	394	508	630	817
	П-ТР-2	90	112	156	257	290	380	450	620
	Ю-10-900	87,5	104	156	257	294	371	470	616
	IV-ТР-4	322	413	575	950	1090	1400	1730	2260
Скорость равномерного хода, *м/сек* . .	П-ТР-1	5,0	4,7	3,75	3,2	3,14	2,9	2,65	2,52
	П-ТР-2	6,95	6,1	5,55	4,85	4,7	4,45	4,15	3,61
	Ю-10-900	6,95	6,1	5,55	4,85	4,7	1,45	4,15	3,61
	IV-ТР-4	6,67	6,1	5,4	4,71	4,45	4,17	3,8	3,6
Время рейса при длине 500 *м/сек* . .	П-ТР-1	14,25	1443	1503	1576	1596	1670	1755	2100
	П-ТР-2	1378	—	1435	—	1531	—	1720	2199
	Ю-10-900	1378	—	1435	—	1531	—	1720	2199
	IV-ТР-4	1383	1404	1439	1506	1537	1607	1716	2190
Время рейса при длине 5000 *м/сек* . .	П-ТР-1	3225	3351	3897	4384	4458	4756	5147	5664
	П-ТР-2	2674	—	3055	—	3448	—	3898	—
	Ю-10-900	2674	—	3055	3367	3448	—	3898	—
	IV-ТР-4	2733	2840	3104	3414	3562	3767	4083	4700
Число электровозов при производительности 15 *т/час* и длине откатки 500 *м*, шт.	П-ТР-1	0,745	0,545	0,367	0,219	0,190	0,138	0,114	0,115
	П-ТР-2	0,46	—	0,226	—	0,12	—	0,0815	0,078
	Ю-ТР-900	0,46	—	0,226	—	0,12	—	0,0815	0,078
То же при производительности 100 *т/час*, шт. . . .	IV-ТР-4	1,17	1,09	0,74	0,435	0,384	0,31	0,26	0,23
То же при производительности 45 *т/час* и длине 5000 *м*, шт.	П-ТР-1	5,06	3,8	2,87	1,83	1,6	1,19	0,97	0,93
	П-ТР-2	2,67	—	1,45	—	0,81	—	0,55	—
	Ю-10-900	2,67	—	1,45	0,91	0,81	—	0,55	—
То же при производительности 150 *т/час*, шт. . . .	IV-ТР-4	3,46	3,3	2,4	1,46	1,37	1,085	0,923	0,735

ким образом, очевидно, закономерность изменения числа поездных бригад в зависимости от величины состава будет аналогичной с полученной ранее закономерностью для электровозов. Здесь мы будем также иметь весьма большие изменения при изменении величины состава поезда.

Считая в среднем поездные бригады состоящими из одного машиниста и одного сцепщика с суммарной заработной платой 1500 руб. в месяц [1], общую годовую сумму заработной платы на один электровоз получим:

$$r_з = 1500 \cdot 12\left(3 + \frac{1}{6}\right) 1{,}36 = 77\,300 \text{ руб.},$$

где 12 — число месяцев в году;

3 — число сменных бригад в сутки при трехсменной работе;

$\frac{1}{6}$ — число подсменных бригад на электровозе при семидневной неделе;

1,36 — коэфициент, учитывающий начисления на основную заработную плату в размере 36%, согласно постановлениям и приказам, действующим по Министерству угольной промышленности.

При двухсменной работе шахты или иной величине заработной платы поездных бригад, по сравнению с принятой нами, необходимо изменить величину $r_з$ в последующих расчетах.

3. Общее число откаточных вагонеток в зависимости от принятой величины состава поезда. Общий парк откаточных вагонеток будет также связан с числом электровозов, находящихся на линии. Если учесть необходимость иметь по крайней мере еще два состава вагонов, находящихся на погрузке и в рудничном дворе, общее число вагонов будет:

$$Nn + 2n = \frac{MT_р}{3600\, q_п} + 2n, \qquad (14)$$

где n — число вагонов в составе;

$2n$ — учет составов, находящихся на погрузке и разгрузке;

$q_п$ — полезная емкость вагона, *т*.

Используя данные табл. 4 о емкости составов, числе электровозов и длительности рейса для каждого из электровозов, по формуле (14) определяем общее число вагонов. Результаты расчетов сведены в табл. 5.

Как видно из табл. 5, с увеличением состава растет общее число вагонов по шахте, несмотря на уменьшение числа электровозов, а следовательно, числа составов. Изменения величины общего числа вагонов в принятых пределах изменения ускорений весьма значительны. При изменении состава в восемь-десять раз общий вагонный парк изменился примерно в четыре-пять раз, т. е. примерно так же, как изменялось число электровозов, только в обратной закономерности. Если число электровозов растет с уменьшением величины состава, то общий вагонный парк при этом будет уменьшаться.

В настоящее время стоимость стандартных рудничных вагонеток согласно ценнику: 1 *т* 825 руб., 2 *т* 1175 руб. и 3 *т* 2100 руб. Принимая годовые амортизационные отчисления 20% от стоимости вагонов и 10% на капитальный ремонт, соответственно общие годовые отчисления по вагонам ($r_в$) в рублях получим: для 1-тонных вагонов

[1] Е. В. Люлько, Сметы на капитальные горные выработки, Углетехиздат, 1946, стр. 22.

Таблица 5

Общее число откаточных вагонеток для разных электровозов в зависимости от величины состава поезда

Наименование величин	Тип электровоза	Емкость вагона, *т*	Величина ускорений, *м/сек²*							
			0,4	0,3	0,2	0,1	0,08	0,05	0,03	0,01
Число вагонов в составе, шт.	П-ТР-1	1	8	11	17	30	35	50	63	76
	П-ТР-2	1	12	18	26	46	53	70	88	117
	Ю-10-900	2	6	9	13	24	28	38	47	63
	IV-ТР-4	3	11	12	13	32	37	48	61	81
Общее число вагонов при производительности 45 *т/час* и длине откатки 5000 *м*, шт.	П-ТР-1	1	56	63	82	115	126	160	187	222
	П-ТР-2	1	56	—	90	—	149	—	225	—
	Ю-10-900	2	28	—	45	70	79	—	120	—
То же при производительности 150 *т/час* и длине 5000 *м*, шт.	IV-ТР-4	3	60	63	—	111	125	148	179	222

247 руб., для 2-тонных вагонов 352 руб. и для 3-тонных вагонов 630 руб.[1].

4. Величина потерь энергии в пусковых реостатах в зависимости от величины состава поезда. Общий расход энергии на электровозную откатку при изменении величины состава при прочих условиях практически не изменяется. Расход энергии на тонно-километр несколько увеличивается лишь при весьма малой величине состава, когда собственный вес электровоза составляет значительную долю веса всего состава поезда. Учитывая это, потери энергии в пусковых реостатах в зависимости от величины состава рассматривают отдельно. При совместном рассмотрении расхода энергии сравнительно небольшая доля потерь энергии в реостатах не оказывает существенного влияния на общий расход энергии, и тогда теряется закономерность изменения этих потерь в зависимости от величины состава поезда.

Как известно, полезная работа, затраченная на разгон состава поезда, определяется по формуле [1]:

$$A_{\text{п}} = \frac{M_1 v^2}{2} + (P_{\text{с}} + Q)(W_0 \pm W_i) L_{\text{п}} \ кгм, \qquad (15)$$

где первый член правой стороны уравнения представляет запас живой силы при разгоне поезда, второй член — работу, совершенную электровозом в период разгона; M_1 — масса движущегося состава поезда с учетом инерции вращающихся частей;

v — скорость равномерного хода;

$L_{\text{п}}$ — длина пути разгона.

Имея в виду, что при электровозах с двумя двигателями с двухступенчатым пуском, т. е. с переключением с последовательного на параллельное соединение двигателей, потери в реостате составляют при-

[1] Е. В. Люлько, Сметы на капитальные горные выработки, Углетехиздат, 1946.

мерно половину от полезно затраченной мощности на разгон, формулу для потерь энергии в реостате получим в виде:

$$A_р = 0{,}5\left[\frac{M_1 v^2}{2} + (P_с + Q)\ (W_0 \pm W_i)\ L_п\right] \text{ кгм.} \qquad (16)$$

Для унификации анализа с предыдущими примерами (чтобы ускорение входило в формулу в явном виде), производим следующие замены:

$$M_1 = \frac{1000\,(P_с + Q)\,(1 + \gamma)}{2g} = \frac{110\,(P_с + Q)}{2}, \qquad (17)$$

$$L_п = \frac{v^2}{2J_0}\ м, \qquad (17')$$

где $\gamma = 0{,}075$ — коэфициент, учитывающий инерцию вращающихся частей поезда;

J_0 — ускорение при разгоне поезда, *м/сек*^{2};

v — скорость равномерного хода поезда, *м/сек*.

Тогда после некоторых упрощений формула (16) примет следующий вид:

$$A_р = 0{,}25\ v^2\ (P_с + Q)\left(110 + \frac{W_0 \pm W_i}{J_0}\right) \text{ кгм.} \qquad (18)$$

Если пренебречь условием, что пуск электровоза обычно производится на площадке, а принять для анализа уклоны равного сопротивления, то потери при пуске ориентировочно можно считать в грузовом и порожняковом направлении примерно равными. Тогда за полный рейс они могут быть определены по формуле:

$$A_р = 0{,}5\ v^2\ (P_с + Q_{гр})\left(110 + \frac{W_0}{J_0}\right) \text{ кгм.} \qquad (19)$$

Для установления характера изменений величины потерь в пусковых реостатах производим расчет по формуле (19) применительно к принятым электровозам. При этом величины скорости равномерного хода, величины составов, а также и число электровозов берем из табл. 4. Удельное сопротивление принимаем 6 *кг/т*.

Результаты вычислений вносим в табл. 6.

Как видно из табл. 6, в зависимости от изменения величины ускорений при пуске, обусловленных величиной состава, величина потерь в реостате также изменяется. С увеличением состава потери растут. В принятом нами интервале изменения ускорений потери в реостате для каждого электровоза возрастают примерно в десять раз. Суммарные потери на один рейс всех нужных для данной производительности электровозов изменяются по более сложной зависимости. При своем изменении суммарные потери имеют явно выраженный минимум, совпадающий с ускорением, примерно равным 0,1 *м/сек*^{2}. Однако пределы изменения их значительно меньше, чем пределы изменения потерь одного электровоза. С уменьшением или увеличением ускорения от 0,1 *м/сек*^{2} суммарные потери в реостате для всех электровозов увеличиваются примерно в два-три раза. Таким образом, и этим фактором в общем анализе пренебрегать нельзя.

Для экономической оценки величины потерь в общем анализе стоимости электровозной откатки выражаем их через стоимость электро-

Таблица 6

Величина потерь энергии в пусковых реостатах в зависимости от величины состава поезда

Наименование величин	Тип электровоза	Величина ускорений, *м/сек²*							
		0,4	0,3	0,2	0,1	0,08	0,05	0,03	0,01
Значение выражения $\left(110+\frac{W_0}{J_0}\right)$ . .		125	130	140	170	185	230	310	370
Квадрат скорости движения равномерного хода, v^2	П-ТР-1	25	22	14	10,2	9,81	8,4	7,0	6,32
	Ю-10-900	48	37	30,7	23,5	22	19,8	17,2	13
	IV-ТР-4	44,3	37	29	22	19,8	17,3	14,4	12,9
Величина потерь в реостате одним электровозом за рейс, *кгм*	П-ТР-1	30800	35800	34200	49200	50700	81600	115000	305000
	Ю-10-900	87300	89500	112000	170000	199000	290000	418000	950000
	IV-ТР-4	148000	163000	194000	295000	330000	462000	642000	1750000
Суммарные потери энергии в реостате всеми электровозами за рейс, *кгм*	П-ТР-1	156000	136000	98500	80500	81000	96000	111000	284000
	Ю-10-900	233000	—	162000	155000	162000	—	230000	—
	IV-ТР-4	510000	536000	485000	431000	451000	498000	596000	1290000

энергии в рублях и относим к 1 сек. времени работы электровоза. Таким образом, стоимость потерь в рублях за год, отнесенная к 1 сек. длительности рейса, может быть определена следующим выражением:

$$r_{\text{ц}} = \frac{16{,}36 \cdot 21 \cdot 360}{102 \cdot 100 \cdot 0{,}85} = 14{,}25 \text{ руб.}, \qquad (20)$$

где 16,36 — стоимость 1 *квт-ч* электроэнергии, коп.;
21 — число часов работы в сутки;
360 — число рабочих дней в году;
102 — переводный коэфициент из *кгм* в *квт*;
0,85 — к. п. д. контактной сети;
100 — переводный коэфициент из копеек в рубли.

5. Величина потерь энергии в тормозной системе в зависимости от веса состава поезда. Ограничиться рассмотрением изменений величины потерь энергии только в пусковых реостатах нельзя.

В принятых нами условиях равенства величины ускорения как при пуске, так и при замедлении, необходимо рассмотреть также потери и при замедлении. Очевидно, чем больше величина состава и больше ускорение при замедлении, тем больше энергии придется гасить в тормозной системе. Идеальным случаем замедления без потерь энергии является свободный выбег — замедление при выключенных двигателях без применения торможения. При этом живая сила движущегося состава поезда равняется работе, произведенной на пути замедления; это выражается формулой [1]:

$$\frac{M_1 v^2}{2} = L_3 \, (P_c + Q) \, (W_0 \pm W_i) \text{ кгм}, \qquad (21)$$

где L_3 — длина пути замедления, *м*.

При торможении часть энергии будет гаситься в тормозной системе. Тогда равенство примет вид:

$$\frac{M_1 v^2}{2} = L_з\ (P_с + Q)\ (W_0 \pm W_i) + A'_т \quad кгм, \tag{22}$$

где $A'_т$ — энергия, потраченная на торможение при замедлении состава поезда за один раз.

Для унификации с ранее выведенной формулой для выражения потерь в реостате производим и здесь аналогичные замены скорости и массы поезда. Вводим в формулу в явном виде ускорение при замедлении. Тогда, после некоторых алгебраических преобразований формула потерь энергии в тормозах в зависимости от величины состава примет следующий вид:

$$A'_т = 0{,}5\, v^2\ (P_с + Q)\left(110 - \frac{W_0 \pm W_i}{J_з}\right) кгм. \tag{23}$$

Пренебрегая и здесь несколько даже большей разницей в потерях в грузовом и порожняковом направлениях движения, величину общих потерь за 1 рейс, т. е. за две остановки, можно получить из выражения:

$$A_т = v^2\ (P_с + Q_{гр})\left(110 - \frac{W_0}{J}\right) кгм. \tag{24}$$

Для установления характера изменений величины потерь в тормозах в зависимости от величины состава производим расчет по выведенной формуле для принятых нами электровозов. Величину веса поезда и число электровозов берем из табл. 4, а квадрат скорости равномерного хода — из табл. 6. Результаты расчетов вносим в табл. 7.

Таблица 7

Величина потерь энергии в тормозах при замедлении в зависимости от величины состава поезда

Наименование величин	Типы электровозов	Величина ускорений при замедлении, $м/сек^2$							
		0,4	0,3	0,2	0,1	0,08	0,05	0,03	0,01
Значение выражения $\left(110 - \frac{W_0}{J}\right)$ . . .	—	95	90	80	50	35	—10	—90	—490
Величина потерь энергии в тормозах одним электровозом за один рейс, *кгм* .	П-ТР-1	46900	50000	39000	29300	22300	—	—	—
	Ю-10-900	134000	125000	128000	101000	75500	—	—	—
	IV-ТР-4	226600	229000	222000	174000	125000	—	—	—
Величина потерь энергии в тормозах всеми электровозами за один рейс, *кгм* .	П-ТР-1	263000	190000	112000	53600	35600	—	—	—
	Ю-10-900	357000	—	185000	91500	61200	—	—	—
	IV-ТР-4	778000	752000	532000	254000	172000	—	—	—

Анализируя табл. 7, видим, что потери появляются при ускорениях порядка 0,08 $м/сек^2$ и выше. Величина потерь значительно возрастает с увеличением ускорения, т. е. с уменьшением веса состава поезда,

и достигает нескольких сот тысяч *кгм* за каждый рейс. Очевидно, в общем анализе необходимо учесть и эту статью расходов зависимости от величины состава. Коэфициент, учитывающий стоимость потерь энергии, может быть определен по формуле (20).

6. Величина расходов, связанных с прохождением и поддержанием горных выработок в зависимости от величины состава поезда. Как известно, длина горных выработок на погрузке и разгрузке зависит от длины состава поезда: чем больше состав поезда, тем большей длины требуются горные выработки для маневровой работы на погрузочных пунктах и в рудничном дворе. Здесь играет роль не только величина веса состава, но и емкость вагонов: чем меньшей емкости вагоны, тем при том же весе состава будет длинее состав поезда и соответственно длиннее будут указанные горные выработки. Очевидно, при выборе величины состава необходимо учесть этот весьма важный фактор. Оценку этой зависимости более удобно произвести экономическим сравнением.

Коэфициент оценки можно установить определением амортизационных и эксплоатационных расходов, связанных с прохождением и поддержанием горных выработок длиной, необходимой для увеличения состава поезда на один вагон. Произведение этого коэфициента или стоимости на то или иное число вагонов в составе дает возможность установить закономерность изменения величины расходов, связанных с прохождением и поддержанием горных выработок в зависимости от величины состава поезда. Аналитически эта зависимость может быть выражена следующей формулой:

$$s_{\text{у}} = \frac{Q_{\text{п}}}{q_{\text{п}}} r_{\text{у}}, \qquad (25)$$

где $r_{\text{у}}$ — стоимость проходки и поддержания горных выработок рудничного двора и разминовок на длину, связанную с увеличением состава поезда на один вагон.

Полная стоимость 1 *пог. м* горной выработки при прохождении определяется стоимостью проходки и крепления выработки, стоимостью сооружения водоотливной канавы и постоянного рельсового пути. При этом должны быть учтены накладные расходы вспомогательных цехов, на подъем, водоотлив, вентиляцию и т. д.

Аналитически полная стоимость 1 *пог. м* горной выработки может быть выражена:

$$П = Д\ (АБ + В + Г)\ \text{руб.}, \qquad (26)$$

где $Д$ — коэфициент для учета накладных расходов при проходке горных выработок (табл. 8);

Таблица 8

Переходные коэфициенты для учета накладных расходов при проходке горных выработок для различных бассейнов (при снабжении электроэнергией от постоянных электростанций для крупных и средних шахт)

Название бассейна	Переходный коэфициент	Название бассейна	Переходный коэфициент
Кузнецкий	2,43	Карагандинский	2,43
Подмосковный	2,43	Кизеловский	2,22
Челябинский	2,43	Средазуголь	2,29

Таблица 9

Цена проходки 1 $м^3$ и крепления горных выработок рудничных дворов, квершлагов и штреков по отдельным бассейнам, имеющим различную крепость пород и мощность пластов полезного ископаемого

Характер крепления выработок	Бассейны	Сечение выработки $м^2$	Крепость горных пород по шкале твердости							
			0,5	1	1,5	2	3	4	5	8
Неполным дверным окладом, 2 рамы на 1 *пог. м* (сосна)	Кузнецкий	3,3—4,5	—	—	22	—	30	37	—	—
	Кузнецкий	4,5—10,1	—	—	21	—	29	36	—	—
	Карагандинский:									
	а) Промышленный	2,7—5,2	—	—	—	15	21	—	—	—
	б) Промышленный	6,8—9,0	—	—	—	15	18	—	—	—
	в) Саранский	2,7—5,2	—	—	—	18	22	—	—	—
	г) Саранский	2,7—5,2	—	—	—	17	20	—	—	—
	Подмосковный	3,9—5,2	—	21	—	—	—	—	—	—
	Подмосковный	8,9—10,9	28	22	—	27	—	—	—	—
	Кизеловский	6,1—9,4	—	—	—	—	—	—	—	52
	Кизеловский	2,8—4,1	—	—	—	26	—	—	—	—
То же, 3 рамы на 1 *пог. м* (сосна)	Караганда:									
	а) Промышленный участок	3,7—5,2	—	—	—	19	25	—	—	—
	б) Промышленный участок	6,8—9,0	—	—	—	18	21	—	—	—
	в) Саранский	2,7—5,2	—	—	—	23	28	—	—	—
	г) Саранский	6,8—9,0	—	—	—	20	24	—	—	—
	Челябинский	4,8—6,1	—	30	—	—	—	—	—	—
То же, 1,5 рамы на 1 *пог. м* (сосна)	Кизеловский	2,8—5,6	—	—	—	—	—	—	—	53
	Челябинский	2,5—3,5	—	—	—		32	—	—	—
То же, 2,5 рамы на 1 *пог. м* (сосна)	Кизеловский	4,8—6,1	—	—	30	—		—	—	—
	Челябинский	7,1—7,5	—	—	—	—	36	—	—	—
	Средазуголь	3,7	—	26	—	—	—	—	30	—
То же, 3,5 рамы на 1 *пог. м* (сосна)	Челябинский	7,1—7,5	—	28	—	—	—	—	—	—
Сплошное, полным дверным окладом (сосна)	Подмосковный	3,8—5	44	35	—	40	—	—	—	—
	Подмосковный	5—6,9	41	32	—	40	—	—	—	—
	Подмосковный	8,9—10,9	35	27	—	33	—	—	—	—
Сплошное, неполным дверным окладом (сосна)	Кузнецкий	4,5—10,1	—	—	24	—	34	40	—	—
	Кузнецкий	15,3 ср.	—	—	36	—	46	55	—	—
	Карагандинский:									
	а) Промышленный	2,7—5,2	—	—	—	23	29	—	—	—
	б) Промышленный	6,8—9	—	—	—	20	23	—	—	—
	в) Саранский	2,7—5,2	—	—	—	28	33	—	—	—
	г) Саранский	6,8—9	—	—	—	24	27	—	—	—
	Челябинский	8,7—10,2	—	26	—	—	36	—	—	—
	Средазуголь	3,7—3,8	—	39	—	—	—	—	45	—
Сплошное, неполным дверным окладом (лиственница)	Кузнецкий	8,5	—	—	27	—	37	43	—	—
	Кузнецкий	10,1	—	—	25	—	35	41	—	—

Продолжение

Характер крепления выработок	Бассейны	Сечение выработки $м^2$	Крепость горных пород по шкале твердости							
			0,5	1	1,5	2	3	4	5	8
1 рама полным и 2 неполным дверным окладом (сосна)	Подмосковный	3,9—6,9	33	24	—	31	—	—	—	—
Бетонное	Кузнецкий	18,3 ср.	—	—	66	—	84	94	—	—
	Кузнецкий	16,6 ср.	—	—	71	—	93	104	—	—
	Подмосковный	12 ср.	105	99	—	102	—	—	—	—
	Средазуголь	2,4—7,8	—	59	—	—	—	—	67	—

А — цена 1 $м^3$ горной выработки по проходке и постоянному креплению (табл. 9);

Б — сечение выработок в свету;

В — цена 1 *пог. м* водоотливной канавы (табл. 10);

Г — цена 1 *пог. м* постоянного рельсового пути (табл. 11).

Таблица 10

Цена водоотливной канавы на 1 *пог. м* длины выработки по различным угольным бассейнам, руб.

Характер выполнения	Средазуголь	Подмосковный		Кузнецкий		Карагандинский	Кизеловский		Челябинский	
		глубина канавы *м*	цена, руб.	по породе	по углю	общий	по углю (крепость 1,5)	по породе (крепость 8)	по углю (крепость 1)	по породе (крепость 3)
Без крепления .	10	0,75	20	10	2	5	3	7	2	4
Крепление сосной	15	1,00	25	15	8	10	9	13	8	9
Крепление бетоном	30	1,50	27	24	12	13—25	—	—	—	—

Таблица 11

Цена 1 *пог. м* постоянных рельсовых путей в горизонтальных выработках при ширине колеи 600—900 *мм* по различным бассейнам в руб.

Бассейн	Средазуголь	Подмосковный	Контроль:				Кизеловский		Челябинский	
			Кузнецкий		Карагандинский					
Вес 1 *пог. м* рельс, *кг*	14,72	14,72	14,72	18,06	24	14,72	14,72	18,06	14,72	18,06
Верхнее строение:										
без балласта . .	23	17	14	16	20	23	16	19	16	18
балласт щебень	—	—	23	25	37	—	27—30	32—36	27—30	29—32
балласт шлак .	25	28	16	18	25	25	—	—	—	—

При определении сечения выработок рудничных дворов принимаем расстояние между осями путей для колеи 600 — 1200 *мм* и для колеи 900 — 1500 *мм*. Проходы для людей принимаются с обеих сторон путей по 800 *мм*. Тогда при высоте выработки 2,35 *м* сечение определяется: для колеи в 600 *мм* 7,96 $м^2$ и для колеи в 900 *мм* 9,4 $м^2$. При определении сечения выработок на разминовках принимаем те же расстояния между путями. Проходы для людей с одной стороны берем 200 *мм*, с другой 800 *мм*. Тогда при высоте выработок 2,25 *м* сечение их определяется для колеи в 600 *мм* 6,3 $м^2$ и для колеи в 900 *мм* 7,63 $м^2$. Только для целей откатки при одноколейном пути ширина выработок определяется шириной колеи соответственно 600 или 900 *мм*, зазорами с той и другой стороны по 200 *мм* и нишами для людей через каждые 50 *м* длины выработки. Тогда при высоте выработки в 2,05 *м* сечение их определяется для колеи в 600 *мм* 2,15 $м^2$ и для колеи в 900 *мм* 2,76 $м^2$.

Таким образом, имея сечения выработок и стоимость отдельных элементов их конструкции из табл. 9, 10 и 11, по формуле (26), определяем стоимость 1 *пог. м* выработки по различным бассейнам Советского Союза. Умножением этой стоимости на длину стандартных вагонов (1-тонных 2,233 *м*, 2-тонных 3,025 *м* и 3-тонных 3,68 *м*) определяется стоимость выработки длиной, равной длине вагона.

Коэфициент r_y стоимости проходки и поддержания горных выработок рудничного двора и разминовок на длину, связанную с увеличением состава поезда на один вагон, определяем из следующих условий. Грузовую и порожняковую ветви рудничного двора рассчитываем на 1,5 состава поезда. Таким образом, с увеличением состава на один вагон выработки рудничного двора увеличиваются на длину трех вагонов. На участках, учитывая в некоторых случаях имеющиеся двухколейные пути, в среднем считаем длину разминовок в один состав, т. е. удлинение состава поезда на один вагон повлечет за собой удлинение выработки на длину только одного вагона. Имея в виду, что для транспорта на участке потребовалась бы выработка с одноколейными путями, в дополнительную стоимость, связанную с длиной состава поезда, вносим лишь уширение откаточной выработки в пределах разминовки. При этом определяем стоимость выработки, рассчитанной на двухколейный путь, и из этой стоимости вычитаем стоимость выработки с одноколейными путями.

Для определения амортизационных отчислений считаем срок службы рудничного двора равным сроку службы горизонта или шахты. В нашем расчете принят срок службы рудничного двора в среднем 25 лет. Срок службы разъездов на участках равен времени отработки участка (примерно от 6 до 12 мес.). Срок службы разъезда на участке в среднем принят 0,75 года, число разъездов 4. Расходы, связанные с ремонтом и поддержанием горных выработок с деревянным креплением, принимаем 100% к амортизационным отчислениям, а с бетонным креплением 10% от амортизационных отчислений.

В связи с малым сроком службы разминовок на участках и имея в виду, что эти выработки служат также и для целей откатки, расходы, связанные с ремонтом и поддержанием крепления участковых разминовок, не учитываем. Не учитываются также промежуточные разъезды на одноколейных путях. Согласно описанной выше методике, произведены определения величины коэфициента (r_y) для различных бассейнов. Результаты расчетов сведены в табл. 12.

Таблица 12

Коэфициенты стоимости проходки и поддержания горных выработок рудничного двора и разминовок на длину, связанную с увеличением состава поезда на один вагон, для различных бассейнов СССР, в руб.

Наименование величин	Бассейны					
	Кузнецкий	Карагандинский	Подмосковный	Кизеловский	Челябинский	Средний уголь
Стоимость 1 *пог. м* выработки:						
а) рудничного двора сечением 7,96 $м^2$ . . .	884	772	780	1080	860	955
б) то же 9,40 $м^2$	1070	898	950	1270	995	1110
в) разминовок 6,30 $м^2$	463	447	500	572	563	504
г) » 7,63 »	585	525	592	686	655	590
д) откаточных 2,15 »	173	160	200	211	224	204
е) » 2,76 »	286	192	257	258	265	245
Разность стоимости выработки на разминовках:						
а) для колеи в 600 *мм*	290	287	300	361	339	300
б) » » 900 »	359	333	335	428	399	345
Коэфициент стоимости проходки и поддержания выработок и рудничного двора:						
а) для колеи 600 *мм* 1-тонного вагона . . .	474	413	417	575	460	512
б) для колеи 900 *мм* 2-тонного вагона . . .	771	652	690	925	720	800
в) для колеи 900 *мм* 3-тонного вагона . . .	940	792	837	1035	875	895
Коэфициент стоимости проходки и поддержания выработки на разминовках:						
а) для колеи 600 *мм* 1-тонного вагона . . .	860	855	890	1070	1000	890
б) для колеи 900 *мм* 2-тонного вагона . . .	1450	1345	1350	1730	1610	1390
в) для колеи 900 *мм* 3-тонного вагона . . .	1763	1635	1645	2100	1960	1695
Суммарный коэфициент стоимости проходки и поддержания выработки рудничного двора и разминовок:						
а) для колеи 600 *мм* 1-тонного вагона . . .	3914	3833	3970	4850	4460	4070
б) для колеи 900 *мм* 2-тонного вагона . . .	6571	6032	6090	7825	7160	6360
в) для колеи 900 *мм* 3-тонного вагона . . .	7990	7332	7407	9435	8635	7575
Средняя величина суммарного коэфициента стоимости для всех бассейнов:						
а) для колеи 600 *мм* 1-тонного вагона . . .		4150				
б) для колеи 900 *мм* 2-тонного вагона . . .		6650				
в) для колеи 900 *мм* 3-тонного вагона . . .		8000				

Как видно из табл. 12, расходы по электровозной откатке, связанные с проходкой и поддержанием горных выработок, могут составлять значительный удельный вес в общих расходах. Удлинение состава на один вагон вызывает увеличение годовых расходов от 4 до 8 тыс. руб.

В суммарных расходах, как видно из результатов подсчетов, большую роль играет емкость вагонов. С увеличением емкости вагонов расходы возрастают. Они по отдельным бассейнам примерно одинаковы; несколько выше расходы лишь по Кизеловскому угольному бассейну в связи с большой стоимостью проходки выработок рудничного двора из-за высокой твердости горных пород (см. табл. 9).

7. Сечение контактного провода в зависимости от величины состава поезда. При неизменной величине производительности и длины откатки изменение величины состава поезда повлечет за собой некоторые изменения в режимах нагрузок на контактную сеть. При меньшей величине состава, а следовательно, большем числе электровозов нагрузка на сеть будет распределяться по ее длине более равномерно.

Считая силу тока пропорциональной силе тяги электровоза, которая, как известно, пропорциональна величине состава поезда, можно считать,

что нагрузка на сеть будет пропорциональна величине состава данного электровоза. Однако общая сила тока, потребляемая из сети всеми электровозами, будет оставаться почти постоянной. Она будет претерпевать лишь некоторые изменения в связи с изменением мертвого веса состава поезда за счет собственного веса электровоза.

Как известно, к. п. д. тяговых двигателей уменьшается с уменьшением нагрузки и при перегрузках. Однако из характеристик тяговых двигателей видно, что при изменении силы тока в два-три раза к. п. д. изменяется в пределах не более 5%. Что касается изменения величины мертвого веса поезда за счет собственного веса электровоза, то оно также будет происходить в небольших пределах. Если собственный вес электровоза составляет примерно 10% веса всего состава поезда, то при изменении величины состава в ту и другую сторону на 100% собственный вес электровоза будет составлять от веса состава от 5 до 15%. Таким образом, пределы изменения мертвого веса составляют всего 10% от веса состава при изменении величины последнего в три раза. При уменьшении величины состава от нормальной величины на 100% суммарный ток может возрасти максимум на 5%. Такое незначительное изменение силы тока, а следовательно, и сечения контактного провода находится в пределах точности расчетов при определении элементов контактной сети. Более существенное влияние может оказать на нагрузку сети увеличение состава поезда при малом числе поездов на линии (один-два), особенно при длинной трассе откаточных путей.

В таких случаях определение сечения контактного провода обычно производится из условия питания одного электровоза, находящегося в конце линии. Естественно, в этом случае увеличение состава поезда будет вызывать пропорциональное увеличение силы тока нагрузки, увеличивая тем самым падение напряжения в контактной сети. И может оказаться, что падение напряжения в сети превзойдет допустимую величину по расчету. Потребуется увеличить сечение контактного провода. Изменения сечения провода возможны лишь в пределах существующих по ОСТу, т. е. 65 *мм*^{2}, 85 *мм*^{2} и 105 *мм*^{2}, иначе говоря в интервале от одного стандартного профиля до другого плавного изменения сечения, пропорционального току нагрузки, получить невозможно.

В связи с этим зависимость сечения контактного провода от величины состава поезда вводить в общую формулу зависимости нецелесообразно. Лучше для этого случая установить лишь пределы переходов от одного сечения провода к другому на общем графике всех других закономерностей, т. е. выяснить, при какой величине состава при данной длине откатки потребуется переход с одного сечения контактного провода на другое сечение.

8. Равномерность движения грузов и организация откатки в зависимости от величины состава поезда. При одной и той же производительности участка и длине откатки увеличение состава поезда повлечет снижение равномерности движения грузов в последующих элементах рудничного транспорта. Сглаживание неравномерности движения грузов, вызванной электровозной откаткой, производится работой опрокидывателей и шахтным подъемом. Опрокидыватели современных конструкций, в том числе и наиболее распространенные — барабанного типа, обладают большими резервами пропускной способности. Они рассчитаны на два-четыре опрокидывания в минуту [1].

---

[1] «Типовое оборудование подъема и откатки для каменноугольных шахт», ГНТИ Украины, 1936, стр. 130.

При 18-часовой суточной работе скипового подъема и 16-часовой клетевого годовая производительность опрокидывателей барабанного типа, с учетом коэфициента неравномерности подачи вагонов (один-два) может быть выражена цифрами, приведенными в табл. 13.

Таблица 13

Годовая производительность опрокидывателей барабанного типа в тыс. тонн

Число опрокидываний в минуту	Для нерасцепленных составов при скиповом подъеме				Для одиночных вагонов при клетьевом подъеме	
	1-тонный	2-тонный	3-тонный	5-тонный	1-тонный	2-тонный
2	—	1120	1690	2820	—	970
3	860	1720	2590	4300	750	1500
4	1120	2240	3360	5600	970	1490

Как видно из табл. 13, в операции опрокидывания имеются большие резервы для сглаживания неравномерности движения грузов. Если же при этом имеется значительной величины бункер шахтного подъема, то неравномерность движения груза, вызванная увеличением состава, совершенно не отразится на последующих элементах рудничного транспорта.

Величина состава отражается также на условиях организации электровозной откатки. Если длинные составы усложняют маневровую работу электровоза, то уменьшение величины состава увеличивает число электровозов на линии, а следовательно, усложняет всю организацию электровозной откатки. При определенной интенсивности откатки существуют те или иные средства диспетчерского управления и система сигнализации и связи. С увеличением числа пар поездов на линии усложняется диспетчерское обслуживание, удорожаются средства связи, сигнализации и блокировки.

Усложнение маневровой работы при длинном составе и затруднения, связанные с увеличением числа электровозов на линии при уменьшении составов, до некоторой степени, при прочих равных условиях, как бы компенсируют друг друга. В связи с этим, стремясь к упрощению аналитического решения поставленной нами задачи, в общем анализе мы эти факторы не учитываем. Что касается различной стоимости средств связи, сигнализации и блокировки, то они попутно могут быть учтены при решении вопроса о выборе подвижного состава индивидуальным сравнением различных вариантов.

9. Влияние изменения величины состава поезда на режим работы тяговых подстанций. От величины состава поезда, естественно, зависит режим работы преобразователей на тяговой подстанции. Современные тяговые подстанции оборудуются обычно мотор-генераторами или ртутными выпрямителями. Определение мощности тяговых подстанций для подземной электровозной откатки производится из условий нормальной работы всех электровозов, находящихся на линии. При анализе зависимости сечения контактного провода от величины состава поезда мы установили, что при изменении веса состава поезда суммарная сила тока нагрузки изменяется незначительно. Таким образом, при нормальном режиме работы электровозов, т. е. при работе на равномерном ходу, изменение величины состава практически будет мало отражаться на работе преобразовательной подстанции. Пиковые нагрузки в моменты

пуска электровозов в ход будут оказывать некоторое влияние на работу преобразователей. Однако даже ртутный выпрямитель, не говоря уже о вращающихся преобразователях, в течение 20—25 сек. может выдержать перегрузку в 100%. Пуск электровоза в ход при часовом токе редко происходит более продолжительное время, чем 25 сек.

Таким образом, стремясь к упрощению анализа, и этот фактор в общей формуле можно не учитывать.

10. Анализ суммарной стоимости электровозной откатки по всем вышеперечисленным факторам в зависимости от величины состава поезда. Из произведенного анализа величины изменений отдельных элементов в зависимости от веса состава поезда видно, что значительные изменения претерпевают из них первые шесть. К их числу относятся: число необходимых электровозов, число поездных бригад, общее число вагонного парка, величина потерь в пусковых реостатах, величина потерь в тормозах и величина расходов на прохождение и поддержание горных выработок. В анализе три элемента, т. е. сечение контактного провода, равномерность движения грузов и организация электровозной откатки, а также и режим работы преобразовательных подстанций, при изменении величины состава претерпевают незначительные изменения; они существенно не влияют на выбор веса состава. В связи с этим в дальнейшем анализе, преследуя цель получить как можно более простые расчетные формулы, последние три фактора мы не учитываем.

Таким образом, определение наивыгоднейшей величины состава поезда будет производиться только по первым шести факторам. Кроме того, при этом сравнении нет необходимости стремиться к весьма высокой точности в расчетах, так как при окончательном выборе числа вагонов в составе, а затем целого числа электровозов, приходится значительно отступать от полученных результатов. Тем более это возможно, так как величина расходов на электровозную откатку в пределах, близких к минимуму, изменяется незначительно, и некоторое отступление в величине состава от расчетного не вызывает существенного изменения в расходах на откатку [4].

Общая формула, выражающая сумму расходов на электровозную откатку по указанным шести статьям, будет иметь следующий вид:

$$S = Nr_э + Nr_з + (Nn + 2n)\, r_в + N(A_р + A_т)\, r_п + \frac{Q_п}{q_п} r_у \text{ руб.}, \quad (27)$$

где N — число необходимых электровозов при данной производительности и длине откатки;

$r_э$ — годовые амортизационные отчисления и эксплоатационные расходы на один электровоз, руб.;

$r_з$ — годовая сумма заработной платы поездных бригад на один электровоз, руб.;

n — число вагонов в одном составе, шт.;

$r_в$ — годовые амортизационные отчисления и расходы на ремонт и обслуживание одного вагона, руб.;

$A_р$ и $A_т$ — потери энергии одного электровоза за один рейс, соответственно в пусковых реостатах при разгоне и тормозах при замедлении, *кгм*;

$r_п$ — стоимость энергии за год, отнесенная к 1 сек. рейса работы электровоза, руб.;

$Q_п$ и $q_п$ — полезная емкость поезда и одного вагона;

$r_у$ — стоимость проведения и поддержания горных выработок, приходящаяся на один вагон в составе, руб.

Очевидно минимальной величиной расходов по данной формуле и определяется та оптимальная величина, которая соответствует наивыгоднейшему весу состава поезда. Для определения минимума расходов в качестве независимой переменной нами взят вес полезного груза состава поезда $Q_п$. Для унификации отдельных частей формулы (27) производим в ней замену N согласно формуле (11), где величину паузы принимаем зависящей от величины состава поезда:

$$\theta = Q_п \; t_1,$$

где t_1 — длительность паузы, приходящаяся на 1 $т$ веса полезного груза состава поезда, складывающаяся из маневров на погрузке и разгрузке вагонов. Величина t_1 зависит от организации маневровой работы на погрузке и разгрузке состава поезда.

Величина $A_р + A_т$ может быть также представлена зависимой от величины состава поезда. Как видно из табл. 6 и 7, в пределах реальных величин ускорений (а, следовательно, для реальных величин составов поездов) эти потери уменьшаются с ростом величины $Q_п$.

Расход энергии на откатку уменьшается с ростом $Q_п$ также в связи с уменьшением мертвого веса состава поезда за счет собственного веса электровоза. Предварительный анализ позволяет считать суммарное изменение величины потерь энергии с ростом $Q_п$ по прямой линии:

$$A_р + A_т = A_0 - \alpha Q_п, \tag{28}$$

где A_0 — потери энергии в пусковых реостатах при разгоне, в тормозах — при замедлении и на транспортирование собственного веса электровоза за один рейс при минимальной величине состава поезда;

α — коэфициент, определяющий величину уменьшения указанных потерь с увеличением $Q_п$ на 1 $т$.

Эти величины для каждого из электровозов будут различными. В предварительном анализе влияния стоимости проведения и поддержания горных выработок на величину состава поезда мы принимали постоянное число погрузочных пунктов, равное 4. В общем анализе принимаем число погрузочных пунктов, равное m. Число погрузочных пунктов отразится: на общем парке вагонов по шахте — в связи с необходимостью иметь резервные вагоны на каждом из них; на стоимости проведения и поддержания горных выработок. Надо иметь в виду, что стоимость выработок рудничного двора по этим статьям будет составлять незначительную долю [5].

При указанных заменах и подстановках после некоторых алгебраических преобразований формула (27) принимает вид:

$$S = \left(\frac{2L}{v} + \frac{2v}{J} + Q_п t_1\right) \frac{M}{3600} \left(\frac{r_э + r_з + A_0 r_п}{Q_п} + \frac{r_в - \alpha r_п q_п}{q_п}\right) + \\ + \frac{Q_п m (r_в + r_у)}{q_п} \text{ руб.} \tag{29}$$

Все обозначения величин, входящих в формулу, сохраняют значения, принятые для них в анализе исходных формул при определении степени влияния отдельных факторов.

Скорость движения поезда и ускорение при разгоне резко изменяются с изменением $Q_п$. В связи с этим, как видно из табл. 4, значительно изменяется время рейса при различных составах $Q_п$, что особенно заметно при большой длине откатки. Для учета изменения указан-

ных величин в общем анализе достаточно заменить лишь скорость и ускорение функциями от $Q_п$. При этом главную роль играет лишь величина скорости в первом члене выражения $T_р$ при равномерном движении. Предварительные расчеты показывают, что изменение величины скорости во втором члене, учитывающем время разгона, практически почти не влияет на длительность рейса. На основании этого в дальнейшем общем анализе в первом члене $T_р$ заменяем скорость функцией от $Q_р$, во втором члене заменяем ускорение зависимостью от $Q_п$, а скорость считаем постоянной и равной длительной скорости движения.

Ускорение при разгоне может быть выражено по известной зависимости из формулы (12):

$$J = \frac{F_ч}{110\,(P+Q)} + \frac{W_0 \pm i}{110}\ м/сек^2. \qquad (30)$$

Величины, входящие в формулу (30), равнозначны принятым в формуле (12). Имея в виду, что в рудничных условиях уклоны путей приближаются к уклонам равного сопротивления, зависимость (30) может быть упрощена:

$$J = \frac{F_ч}{110\,k Q_п}\ м/сек^2, \qquad (30')$$

где k — коэфициент, учитывающий мертвый вес состава поезда, определяемый отношением общего веса состава поезда к весу полезного груза:

$$k = \frac{P_с + Q}{Q_п}. \qquad (31)$$

Предварительный анализ показывает, что коэфициент k в данном случае может быть принят постоянным, равным средней величине по данным табл. 4 для того или иного типа подвижного состава (электровозов, вагонов). Скорость в фомуле (29) также может быть выражена зависимостью от величины полезного груза. Для сериесных двигателей в ненасыщенной рабочей части характеристик справедлива гиперболическая зависимость скорости от силы тяги:

$$v = \frac{a}{F} + b\ м/сек^2, \qquad (32)$$

где a и b — постоянные коэфициенты, определяемые по характеристикам тяговых двигателей для различных электровозов;
F — сила тяги, определяемая по формуле (7), *кг*.

Имея в виду уклоны путей, близкие к уклонам равного сопротивления, зависимость формулы (7) можно упростить и формулу (32) представить в виде:

$$v = \frac{a}{k'\,k\,Q_п\,W_0} + b\ м/сек^2, \qquad (32')$$

где k' — коэфициент, учитывающий число тяговых двигателей на электровозе;
W_0 — основное удельное сопротивление движению [формула (12)].

Другие величины имеют значения, указанные для выражения (30′).

При указанных заменах и подстановках скорости и ускорения после некоторых алгебраических преобразований формула (29) принимает вид:

$$S = \frac{M}{3600}(r_э + r_з + A_0 r_п)\left(\frac{2Lk' - kW_0}{a + k'\,k\,W_0\,b\,Q_п} + \frac{2 \cdot 110\,kv}{F_ч} + t_1\right) +$$
$$+ \frac{M}{3600}\left(\frac{r_в - \alpha r_п q_п}{q_п}\right)\left(\frac{2Lk'\,W_0\,k\,Q_п}{a + bk'\,W_0\,k\,Q_п} + \frac{2 \cdot 110\,kvQ_п}{F_ч} + t_1 Q_п\right) +$$
$$+ \frac{m(r_в + r_у)}{q_п} Q_п \text{ руб.} \qquad (33)$$

Для нахождения минимума стоимости берется первая производная от суммы расходов по $Q_п$, как независимой переменной, и приравнивается нулю. В результате алгебраических преобразований имеет место следующее квадратное уравнение:

$$\left\{\left[\frac{M(r_в - \alpha r_п q_п)}{3600\,q_п}\left(\frac{2 \cdot 110\,kv}{F_ч} + t_1\right) + \frac{m(r_в + r_у)}{q_п}\right](bk'\,k\,W_0)^2\right\} Q_п^2 +$$
$$+ \left\{\left[\frac{M(r_в - \alpha r_п q_п)}{3600\,q_п}\left(\frac{2 \cdot 110\,kv}{F_ч} + t_1\right) + \frac{m(r_в + r_у)}{q_п}\right]2ab\,k'\,k\,W_0 +\right.$$
$$\left. + 2Lbk'^2 k^2 W_0^2\right\} Q_п + \left\{\left[\frac{M(r_в - \alpha r_п q_п)}{3600\,q_п}\left(\frac{2 \cdot 110\,kv}{F_ч} t_1\right) +\right.\right.$$
$$\left.\left. + \frac{m(r_в + r_у)}{q_п}\right] a^2 + \frac{M(r_в - \alpha r_п q_п)\,2aL\,k'\,k\,W_0}{3600\,q_п} -\right.$$
$$\left. - \frac{M}{3600}(r_э + r_з + A_0 r_п)\,2Lbk'^2 k^2 W_0^2\right\} = 0. \qquad (34)$$

Уравнение (34) является универсальным для определения оптимальной величины состава поезда, пригодным для любого типа электровоза и вагонов. Однако для практических целей оно громоздко, требует много времени для вычислений. Это уравнение значительно упрощается применительно к тому или иному электровозу и вагонам.

Для производства дальнейшего анализа проблемы нами составлялись аналогичные частные квадратные уравнения для отдельных типов электровозов при той или иной емкости вагонов.

Для этой цели в уравнение (34) подставлялись все значения постоянных величин, относящихся к данному типу подвижного состава:

$r_э$ — годовые отчисления на ремонт и амортизацию из табл. 1, руб.;
$r_з$ — годовая сумма зарплаты бригад на один электровоз, руб.;
$F_ч$ — часовая сила тяги электровоза из табл. 1, *кг*;
v — продолжительная скорость электровоза из табл. 1, *м/сек*;
k — отношение общего веса состава поезда к весу полезного груза из табл. 4;
$r_в$ — годовые отчисления на ремонт и амортизацию вагонов, руб.;
$r_п$ — коэфициент стоимости потерь энергии по формуле (20);
$r_у$ — суммарный коэфициент стоимости проходки и поддержания выработок рудничного двора и разминовок из табл. 12;
W_0 — принято 6 *кг/м*;
$q_п$ — полезная емкость — 1, 2, 3 *т*;
k' — коэфициент для электровозов с двумя двигателями, равный 0,5;
A_0 — потеря энергии при минимальной величине состава поезда, отвечающей ускорению при пуске $J = 0{,}4$ *м/сек*^{2};
α — коэфициент уменьшения потерь энергии;
a и b — постоянные в гиперболической зависимости скорости от силы тяговых двигателей.

Что касается производительности участков M и длины откатки L, то они для каждого электровоза могут быть различными. Они являются основными условиями, определяющими элементы подвижного состава. В связи с этим они сохранились в явном виде в квадратных уравнениях для каждого электровоза, т. е. постоянные коэфициенты при независимых переменных в уравнении оставлялись в виде функций производительности M и длины откатки L:

$$f^{I}(ML)\,Q_{п}^{2} + f^{II}(ML)\,Q_{п} + f^{III}(ML) = 0. \qquad (35)$$

Для данного подвижного состава функции f^{I}, f^{II} и f^{III} являются постоянными величинами.

По частным квадратным уравнениям (35) для каждого из электровозов при разной емкости вагонов определялась наивыгоднейшая величина полезного груза состава в зависимости от производительности и длины откатки:

$$Q_{п} = f^{IV}(ML)\,m. \qquad (36)$$

Затем учитывался мертвый вес состава поезда — вес собственно вагонов и электровоза и составлялась зависимость наивыгоднейшей величины общего веса состава поезда от длины и производительности электровозной откатки:

$$P_{с} + Q_{гр} = f^{V}(ML)\,m. \qquad (37)$$

Все результаты вычислений по зависимости (37) нанесены на графики (рис. 1, 2, 3, 4, 5). Все промежуточные весьма простые вычисления, а также и расчетные таблицы здесь не приводятся.

На указанных графиках, построенных для всех контактных электровозов, по оси абсцисс нанесены производительности участков M *т/час*; по оси ординат — общий вес состава поезда $P_{с}+Q_{гр}$ в *т*. Кривые построены для разных длин откатки в пределах от 500 до 5000 *м* и для разной емкости вагонов $q_{п}m$.

Расширяя поставленную проблему выбора наивыгоднейшей величины состава поезда вопросом выбора также наивыгоднейшего типа электровоза и емкости вагона при заданных условиях электровозной откатки, замечаем, что при одной и той же производительности и длине откатки может быть взят любой электровоз. Величина состава при этом, определяемая полученными формулами, будет, естественно, различна: она определяется различными величинами параметров, входящих в формулу при разных типах электровозов. Суммарная стоимость электровозной откатки по шести принятым нами факторам при этом также различна. Чем больше производительность и длина откатки, естественно, дешевле окажется эксплоатация крупных электровозов при большой емкости вагонов. Чем короче путь откатки и меньше производительность участков, тем дешевле окажется сумма затрат по шести указанным факторам для электровозов малого сцепного веса. Для решения этой части задачи нами произведено сравнение сумм затрат по всем изменяющимся факторам для различных типов электровозов при наивыгоднейших величинах составов, при одинаковых эксплоатационных условиях, т. е. при одной и той же производительности участка, длине откатки, числе участков и пр. Сумма общих затрат для различных электровозов определена по формуле (29); для данной производительности и длины откатки соответственно принимались значения, отвечающие наивыгоднейшей величине состава для данного электровоза при заданных условиях.

Для возможности сравнения стоимости откатки при различных электровозах и вагонах определялась удельная сумма расходов на 1 *т* годовой добычи. При этом общая сумма расходов на откатку за год *S* делилась на годовую производительность участка при той же часовой

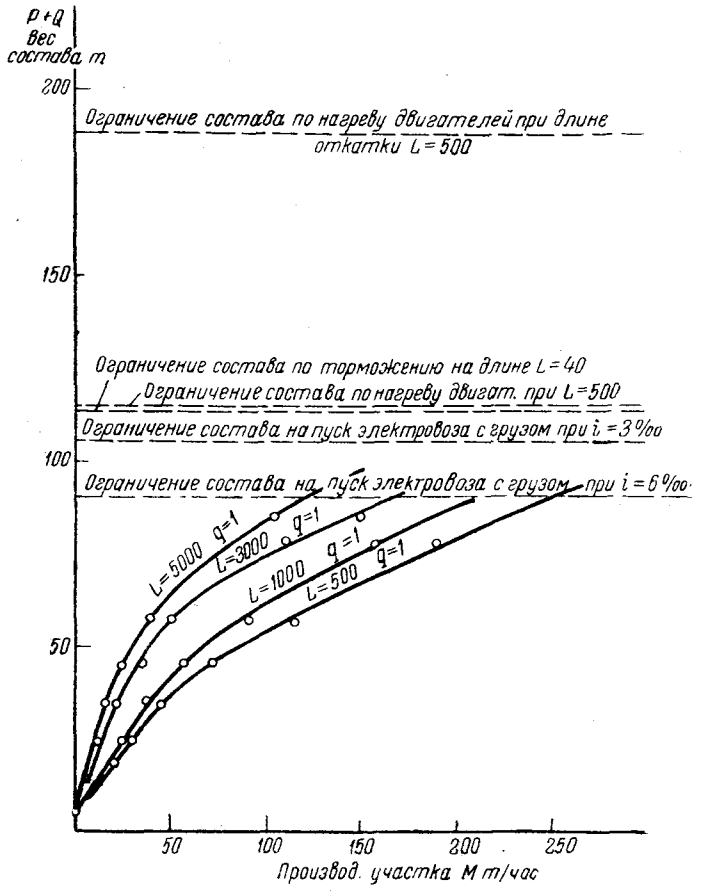


Рис. 1. Кривые зависимости наивыгоднейшей величины состава поезда от длины и производительности электровозной откатки для электровоза П-ТР-1

производительности *M*, которая принималась при определении *S*. Полученные данные удельной стоимости откатки для разных электровозов позволили на тех же графиках $P_c + Q_{гр} = f^{V}(ML)$ нанести границы наименьших расходов транспорта при данной длине и производительности. На графиках для разных электровозов (рис. 1, 2, 3, 4, 5) эти границы отмечены пунктирными линиями, пересекающими основные графики. При построении графиков по оси абсцисс принята часовая производительность *M т/час*, а по оси ординат — удельная стоимость откатки. Однако при определении удельной стоимости необходимо иметь в виду, что по формуле (29) определяется сумма расходов не по всем статьям, а только по тем, которые влияют на выбор величины состава поезда.

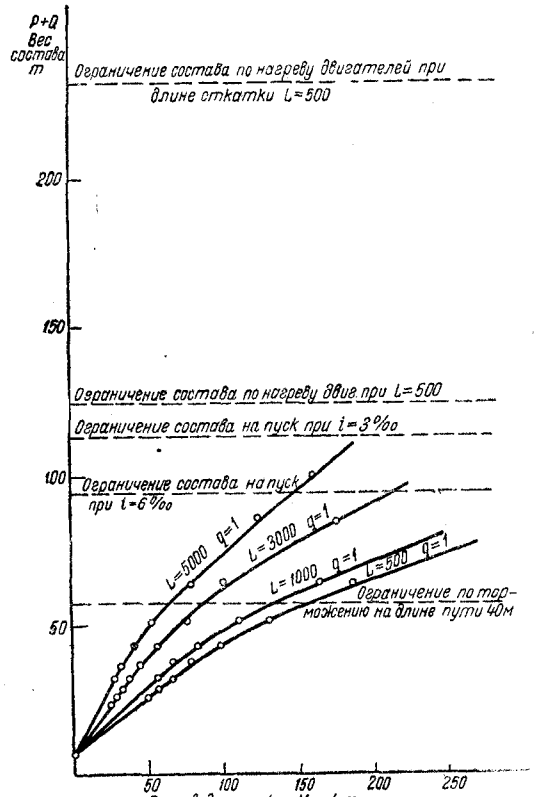


Рис. 2. Кривые зависимости наивыгоднейшей величины состава поезда от длины и производительности электровозной откатки для электровоза П-ТР-2

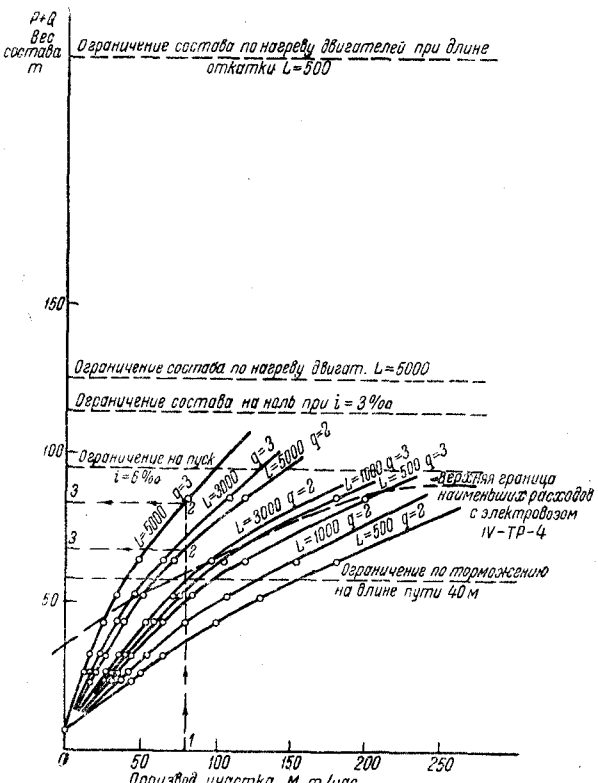


Рис. 3. Кривые зависимости наивыгоднейшей величины состава поезда от длины и производительности электровозной откатки для электровоза П-ТР-3

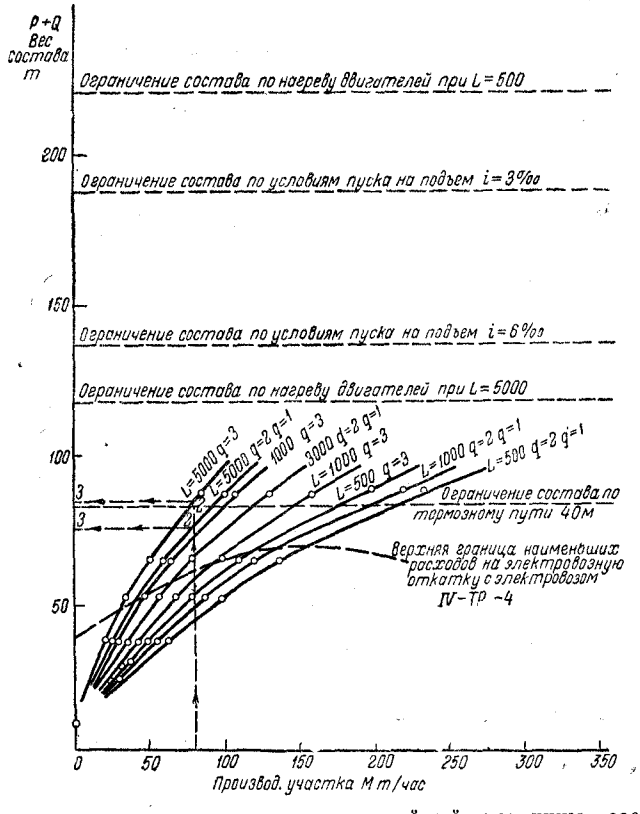


Рис. 4. Кривые зависимости наивыгоднейшей величины состава поезда от длины и производительности электровозной откатки для электровоза Ю-10 (с равномерной шкалой по величине состава)

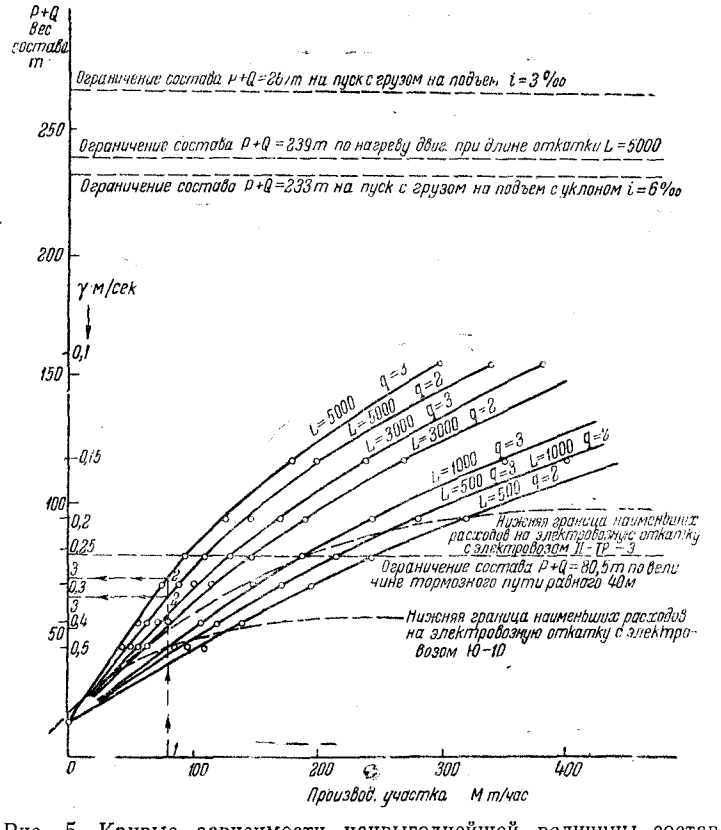


Рис. 5. Кривые зависимости наивыгоднейшей величины состава поезда от длины и производительности электровозной откатки для электровоза IV-ТР-4 (с равномерной шкалой по величине состава)

Для полноты картины в верхней части графиков нанесены пунктиром величины составов, определенные по обычным формулам (1, 2, 4) согласно табл. 2.

11. Методика пользования графиком. По известной длине L и производительности участка или шахты M, например, требуется определить тип электровоза, емкость вагона $q_п$ и величину состава поезда $P_с + Q_{гр}$. Для этой цели на любом из приведенных графиков к оси абсцисс в точке, указывающей заданную производительность M *т/час,* восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой зависимости величины состава при данной длине откатки L. Затем из этой точки пересечения проводится горизонтальная линия до оси ординат, где и определяется наивыгоднейшая величина состава поезда в тоннах при данной длине и производительности. В величину состава, естественно, входит также вес собственно электровоза.

В тех случаях, когда точка пересечения на кривой зависимости величины состава от длины и производительности электровозной откатки выходит из границ наименьших расходов для данного типа подвижного состава, необходимо переходить на другие вагоны или на другие электровозы и вагоны. Естественно, при большей длине L производительности M откатки необходимо переходить к более крупным электровозам и большей емкости вагонов.

Пунктирными линиями с указанием направлений стрелками на графиках, представленных на рис. 3 и 4, дан ключ к решению задачи. При производительности $M = 80$ *т/час* и длине откатки $L = 5000$ *м* по графику на рис. 3 точка на кривой зависимости, определяющая наивыгоднейшую величину состава, выходит за верхнюю границу наименьших расходов при любой емкости вагонов; следовательно, электровоз П-ТР-3 является недостаточным по производительности; очевидно, необходимо переходить к более мощному электровозу. Удовлетворительное решение вопроса при данной длине и производительности дает электровоз типа IV-ТР-4, на графике рис. 5. Электровоз Ю-10, на графике рис. 4, также не удовлетворяет условиям наименьших затрат при данных M и L.

Таким образом, при наименьших затратах на электровозную откатку наивыгоднейшая величина состава (график на рис. 5): при емкости 3-тонного вагона 71 *т*, т. е. примерно 13 вагонов, и при 2-тонных вагонах полезной емкости 64 *т*, т. е. примерно 20 вагонов в составе.

С указанной в примере производительностью при данной длине откатки могли справиться и другие из перечисленных электровозов, но они дали бы повышенную стоимость электровозной откатки. Разницу в величине расходов на электровозную откатку при любых условиях можно определить по формуле (29) или, пользуясь данными графиков удельных затрат на 1 *т* перевозимого груза.

Возможность выбора разных типов электровозов и вагонов при заданных условиях позволяет учесть максимальную их загрузку при определении числа электровозов. При этом методе всегда можно выбрать такой подвижной состав (электровозы и вагоны), который при заданной длине и производительности потребует целого, а не дробного числа электровозов. Последнее весьма существенно при малом числе электровозов и при небольшой производительности шахты. Самые же расчеты по графику являются предельно простыми и могут быть произведены мгновенно. Что касается видимой недогрузки отдельных электровозов, то для рудничных условий стремиться к предельной загрузке вообще нецелесообразно.

Как показывает практика работы, электровозы при максимальной нагрузке вместо увеличения производительности зачастую дают снижение последней. Причинами этому служат случайные увеличения сил сопротивления движению, когда в состав попадают так называемые «трудные» вагонетки с испорченными подшипниками, когда имеет место сильное засорение пути или увеличение уклона пути из-за вздутия почвы или неправильной прокладки пути. Иногда причиной снижения производительности служит также уменьшение коэфициента сцепления колес с рельсами или резкое понижение напряжения в контактном проводе. Все эти причины выводят из графика перегруженные электровозы, нарушают общий ритм работы рудничного транспорта. Таким образом, оправданное экономикой уменьшение величины состава, на наш взгляд, является тем более желательным. Кроме того, при уменьшении величины состава производительность электровозной откатки несколько повышается за счет увеличения скорости движения [3].

Анализируя графики, построенные на основании расчетных данных для всех электровозов, видим, что наивыгоднейшая величина состава поезда много меньше максимально допустимых величин по нагреву тяговых двигателей и по сцепному весу электровоза. Таким образом, оказывается рациональнее брать состав поезда не максимально возможный, а много меньший того, который определяется по конструктивным данным электровоза, причем в каждом конкретном случае величина состава определяется не только конструктивными особенностями электровоза, но и условиями его эксплоатации. Из анализа формул аналитического определения наивыгоднейшей величины состава видно, что на выбор состава влияет длина откатки, производительность участков, профиль пути, число погрузочных пунктов, крепость горных пород; с точки зрения стоимости проходки горных выработок — величина амортизационных отчислений и эксплоатационных расходов. На выбор величины состава влияют также следующие особенности подвижного состава: сцепной вес электровоза, скорость движения при длительном и часовом режимах, а также емкость вагонов. Следовательно, по данному способу выбора элементов подвижного состава величина состава поезда является функцией многих переменных; в первую очередь она зависит от условий электровозной откатки. Выбор состава базируется на условиях откатки, а не на изолированных от условий откатки лишь конструктивных особенностях электровоза.

Как видно из приведенных графиков, чем короче длина откатки и меньше производительность участка, тем меньше наивыгоднейшая величина состава поезда при том же подвижном составе. Таким образом, этим методом наглядно доказывается ошибочность стремления к максимальной загрузке электровоза при любых условиях. Только при очень большой длине и высокой производительности есть смысл увеличивать состав и то далеко не до максимальных пределов, допустимых по нагреву двигателей или по сцепному весу электровоза. Увеличение веса состава сверх наивыгоднейшей величины лишь повлечет за собой увеличение общего парка откаточных вагонов, увеличение выработок на разминовках и в рудничном дворе, а также увеличение потерь энергии в период разгона в пусковых реостатах. Из графиков видно, что чем больше емкость откаточных вагонов, тем, при прочих равных условиях, больше величина наивыгоднейшего состава поезда.

Возрастает величина наивыгоднейшего состава поезда также с увеличением сцепного веса электровоза. Для решения задачи выбора сцепного веса локомотива на графиках пунктирной линией нанесены границы

наименьших расходов на электровозную откатку при различных электровозах. Как и следовало ожидать, при больших производительностях участков и длинах откатки наименьшие расходы будут при откатке 14-тонными электровозами марки IV-ТР-4. При меньших производительностях и длинах откатки по стоимости затрат он граничит с электровозом II-ТР-1. 10-тонный электровоз Ю-10 по наименьшим затратам на откатку перекрывается в больших производительностях 14-тонным электровозом, а в малых производительностях — 7-тонным электровозом II-ТР-3, т. е. Ю-10 экономически является менее рентабельным, чем другие электровозы. Это объясняется несоответствием сцепного веса данного электровоза с его тяговыми двигателями. Электровозы Ю-10 имеют увеличенный собственный вес при тех же двигателях, какие применяются на 7-тонных электровозах.

Предельная простота выбора электровоза и величины состава поезда по приведенным графикам технико-экономического сравнения позволяет решать эти вопросы комплексно с решением других вопросов при проектировании электромеханического оборудования шахты. Пользуясь этим методом расчета электровозной откатки, весьма просто обосновать длину выработок рудничного двора, учесть влияние системы вскрытия месторождений, системы работ и числа участков на стоимость транспортирования полезного ископаемого, учесть экономику при выборе емкости откаточной вагонетки и т. д. При этом методе расчет электровозной откатки может быть не изолированным от решения других вопросов, а вытекающим из решения смежных проблем, и, в свою очередь, влияющим на их решение.

Простота метода расчета электровозной откатки особенно ценна, если иметь в виду специфические условия рудничной откатки, где по мере движения фронта работ беспрерывно изменяются длины транспортирования, число погрузочных пунктов на отдельных крыльях, производительность отдельных участков и общая производительность. При таких условиях для правильной и экономической организации электровозной откатки ограничиться одним расчетом по усредненным или максимальным показателям недостаточно.

При изменяющихся условиях транспортирования при правильном проектировании электровозной откатки требуется производить большое число расчетов и находить варианты, экономически наиболее рентабельные для отдельных этапов развития горных работ. Для учета технологии добычи полезного ископаемого и неравномерности выдачи его из забоев в некоторых случаях потребуется определить несколько вариантов графиков движений в течение суток, а иногда и одной смены. В этих случаях простой графический метод решения задачи явится незаменимым. Он позволит установить серию рентабельных графиков движения электровозной откатки с рациональным распределением по участкам при найденных числах электровозов на участках, позволит найти наивыгоднейшую величину составов, а также по мере развития горных работ — установить график количественного изменения подвижного состава (электровозов, вагонов и др.) по шахте в целом.

Вследствие сокращения объема статьи, здесь приведены расчеты и графики для контактных электровозов. Для аккумуляторных электровозов выбор элементов подвижного состава решается аналогичным образом; некоторые изменения в расчеты вносятся лишь в связи с изменением режима работы аккумуляторных батарей при разных величинах состава поезда.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Волотковский, Подземная электровозная тяга, 1939.
2. Е. В. Люлько, Сметы на капитальные горные выработки, 1946.
3. А. В. Рысьев, К некоторым вопросам теории рудничной электровозной откатки, «Записки Ленинградского горного института», 1948, т. XXII.
4. Д. Карпухин, Определение наивыгоднейшего тоннажа нетто поезда при откатке подвижными двигателями, «Записки Московского горного института», 1931.
5. С. И. Лопатин, Технико-экономический расчет электровозной откатки при сложном профиле пути, 1936.