

В данном случае отклонение от исходного варианта составит 33,6 к.е., или 29%.

Для окончательного вывода о целесообразности рассмотренных методов расчета календарных планов проведены аналогичные для примера изложенного в [1]. При этом получены следующие результаты:

- при разбивке на 4 диапазона общая продолжительность составила 29 к.е. отклонение от исходной в 25 к.е. составляет 4 к.е. или 16%;
- на 6 диапазонов: продолжительность 31 к.е., отклонение 6 к.е. или 24%;
- на 12 диапазонов: 30 к.е., отклонение 5 к.е. или 20%;
- без разбивки на диапазоны выполнено десять независимых расчетов со следующими результатами: 30; 28; 27; 33; 30; 58; 31; 35; 22; 19.

Среднее из них равно 31,3 к.е. отклонение от исходного 6,3 к.е. или 25,2%

Заключение. Выполненные расчеты по предлагаемой методике приводят к увлечению общей продолжительности комплекса работ по сравнению с исходной при расчете которой продолжительность работ приняты равными t , хотя изначально принят высокий организационный уровень исполнителей, продолжительность каждой от-

дельно взятой работы находится в пределах $0,5t \div 1,5t$. Как правило, в практике реализации проектов также имеет место увеличение сроков по сравнению с запланированными.

Разбивка вероятностей на диапазоны существенно не влияет на окончательный результат, но увеличение диапазонов дает увеличение трудоемкости расчетов календарного плана. Поэтому окончательно можно рекомендовать для практических целей выполнять расчеты календарных планов с вероятностными временными параметрами работ без разбивки последних на диапазоны. Такой подход без особых трудностей можно применить и в случае со средним или низким организационным уровнем исполнителей.

Расхождения в результатах расчетов по приведенному примеру (11%) и примеру рассмотренному в [1] (21%) дает основания предполагать, что на конечный результат влияют: топология сетевой модели, количество событий сетевой модели календарного плана.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калугин, Ю.Б. Расчет календарных планов работ с вероятностными временными параметрами / Ю.Б. Калугин // Изв. Вузов. Строительство – 2011 – № 10. – С. 51–58.

Материал поступил в редакцию 20.03.13

KUZMICH P.M., MAKHNIST L.P., MIKHAYLOVA N.V. Calculation of planned schedules with probabilistic temporary parameters of works
Calculation of kaledarny plans is given in article with probabilistic temporary parameters of works.

УДК 658.8:69

Кулаков И.А., Кулакова Л.О.

ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТА В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение. В настоящее время термин «логистика» всё чаще встречается в производственной лексике. Это объясняется тем, что логистические издержки имеют довольно значимый удельный вес в общих затратах производства. В Республике Беларусь в среднем в цене готовой продукции транспортно-заготовительные расходы составляют до 30 %. Что касается непосредственно транспортных затрат, то они составляют до 60 % в транспортно-заготовительных и до 12% – в заготовительно-складских расходах.

Однако во многих развитых странах сегодня эти затраты минимальны. Так, в Японии транспортно-складские издержки в цене готовой продукции составляют менее 5 %, в США – менее 8%. Аналогичная ситуация характерна и для стран Евросоюза. По мнению Неопорента, одного из основоположников логистики, транспорт и запасы – «бесконечные резервы снижения себестоимости продукции».

В трудах многих белорусских учёных предлагаются различные методики оптимизации транспорта. Необходимо отметить, что все они основаны на маршрутизации, определении вида и типа транспорта.

В строительной отрасли Республики в настоящее время наблюдается спад, связанный с мировым финансовым кризисом и его последствиями в Республике Беларусь. Во многих строительных объединениях уровень рентабельности производства в последние 2 года снизился с 15 % до 0%, а в отдельных случаях и ниже. Реальная себестоимость готовых объектов часто превышает их контрактную цену, в особенности, на объекты социально значимые и источниками финансирования которых выступают бюджетные средства.

В сложившейся ситуации внутренним резервом минимизации себестоимости строящихся объектов должна стать планомерная оптимизация логистических составляющих: транспортных издержек, затрат по эксплуатации машин и механизмов, заготовительно-складских расходов. С другой стороны, сегодня логистические методы и методики оптимизации в строительстве крайне редко являются объектами исследования белорусских учёных. Заслуженным вниманием пользуются работы Седюкевича В.Н., Дроздова П.А., Ивутья, Елового И.Е. В России же большую популярность приобрели труды Воронкова А.Н., Лопаткиной Т.И.

Целью данной статьи является разработка методики оптимизации транспортных издержек в строительстве. Прежде всего необходимо решить задачи, связанные с выбором типа подвижного состава автотранспорта и маршрутизацией перевозок.

Логистическая оптимизация транспорта в строительстве. В традиционных методиках оптимизации транспорта в строительстве предлагается алгоритм, который характеризуется следующими общими этапами:

- подбор маршрутов (маятниковый, кольцевой, челночный, челночно-маятниковый);
- календаризация перевозок в соответствии с календарным/сетевым графиком;
- организация перевозок, включающая выбор перевозчика и подготовку комплектовочно-транспортных карт в составе унифицированной нормативной технологической документации на комплектацию.

Кулаков Игорь Анатольевич, доцент кафедры менеджмента Брестского государственного технического университета.

Кулакова Лейла Омаровна, ст. преподаватель кафедры экономики, финансов, инвестиций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

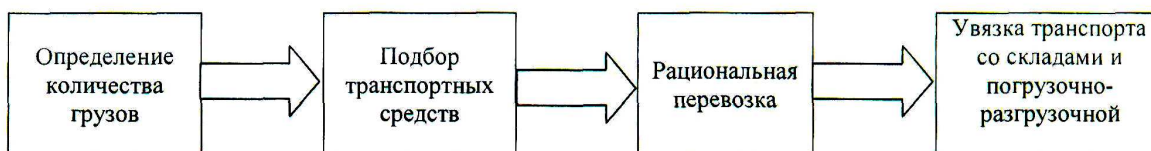


Рис. 1. Функциональная схема транспортного обеспечения в строительстве

Следует отметить, что унифицированная нормативно-технологическая документация на комплектацию в настоящее время используется крайне редко. Фактические транспортные издержки в цене на строительную продукцию довольно высоки и, как правило, превосходят затраты, заложенные в сметную (контрактную) стоимость.

Это связано с недостаточной подготовкой, игнорированием современных инновационных логистических методов в обеспечении строительного производства.

Задачей настоящего исследования является определение потенциала использования существующих логистических методов оптимизации транспорта применительно к строительной отрасли.

Для рационального комплексного транспортного обеспечения строительства необходимо выполнять следующие функции (рис. 1).

Для успешной реализации вышеуказанных функций предлагается следующая методика транспортного обеспечения в строительстве (рис. 2).

| | |
|--------|---|
| Этап 1 | Определение направлений и объёмов перевозок строительных грузов |
| Этап 2 | Подбор типа, вида транспорта |
| Этап 3 | Маршрутизация перевозок |
| Этап 4 | Календаризация перевозок |
| Этап 5 | Совмещение подвижного состава транспортных средств со складом и средствами погрузки/разгрузки |

Рис. 2. Логистические этапы транспортного обеспечения в строительстве

Для осуществления 1-го этапа применяются «Транспортно-комплектовочные карты», разрабатываемые в составе «Унифицированной нормативно-технологической документации на комплектацию» (УНТДК).

Направления перевозок можно определить на основании «Схемы привязки объектов строительства к поставщикам» в составе УНТДК.

Объёмы перевозок можно определить, используя «Комплектовочно-технологические карты» в составе УНТДК. При отсутствии УНТДК объёмы и направления перевозок определяются на основании проектно-сметной документации, производственных норм расхода строительных материалов, изделий, конструкций, технологических карт, данных о производителях и поставщиках и т.д.

Но можно использовать и наиболее прогрессивную методику определения объёмов и направлений перевозок на макро- и микроуровнях (т.е., в масштабах министерства, ведомства, объединения (макроуровень) и для отдельного строительного объекта (микроуровень). А именно, речь идёт о применении эпюр и картограмм грузопотоков [1, с. 24–25].

Построение эпюр грузопотоков и картограмм.

Для определения объёмов и направления перевозок используются эпюры грузопотоков и картограммы грузопотоков.

Эпюры – графическое отображение влияния двух факторов направления и объёма.

Эпюры грузопотоков на маршруте А–В–С–D.

Алгоритм построения эпюр.

Формируется шахматная таблица 1.

Таблица 1. Шахматная таблица грузопотоков

| № пункта | A | B | C | D |
|----------|---|---|---|---|
| A | - | 2 | 1 | 3 |
| B | 1 | - | 4 | 2 |
| C | 5 | 4 | - | 6 |
| D | 1 | 1 | 1 | - |

Определяется прямое и обратное направление. Прямое – это то, в котором движется большее количество грузов.

$$AD = AD + AB + AC + BC + BD + CD = 3 + 2 + 1 + 4 + 2 + 6 = 18;$$

$$DA = DA + BA + CA + CB + DB + DC = 1 + 1 + 5 + 4 + 1 + 1 = 13;$$

AD – прямое.

Коэффициент однородности перевозок:

$$K_o = \text{обратное} / \text{прямое} = 13 / 18.$$

Значения эпюр откладываются по оси ординат вверх в прямом направлении вниз по обратному направлению:

$$AB = AD + AB + AC = 3 + 2 + 1 = 6;$$

$$BC = BC + AC + AD + BD = 4 + 1 + 3 + 2 = 10;$$

$$CD = CD + AD + BD = 11;$$

$$BA = BA + CA + DA = 1 + 5 + 1 = 7;$$

$$CB = CB + CA + DB + DA = 4 + 5 + 1 + 1 = 11;$$

$$DC = DC + DB + DA = 1 + 1 + 1 = 3.$$

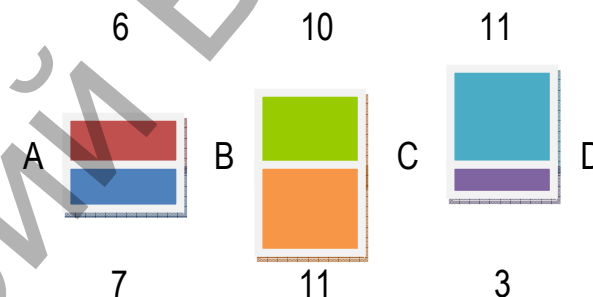


Рис. 3. Эпюры грузопотоков

Наложение эпюр грузопотоков на карту путей сообщения называется картограммой. Картограмма и эпюры позволяют:

- определить объёмы и направления перевозок;
- определить прямое и обратное направление;
- совместить грузы в прямом и обратном направлении;
- определить интенсивность движения по направлениям;
- планировать работу грузового и пассажирского транспорта (количество, регулярность);
- определить категорию транспортных коммуникаций т.е. дорог.

2-ой этап предполагает определение типа и вида транспорта.

Совокупный грузопоток строительной фирмы можно представить как сумму внешнего ($\Gamma\Gamma_{вн}$) и внутреннего ($\Gamma\Gamma_{вф}$) грузопотоков:

$$\Gamma\Gamma_{сф} = \Gamma\Gamma_{вн} + \Gamma\Gamma_{вф}, \quad (1)$$

где $\Gamma\Gamma_{сф}$ – совокупный грузопоток строительной фирмы.

Основной количественной мерой грузопотока является грузооборот, т.е. общий объём транспортно-грузовой работы:

$$Q_{эр} = \sum_{i=1}^n q_i l_i, \quad (2)$$

где $Q_{эр}$ – общий объём грузооборота строительной фирмы;

q_i – объём i -го вида груза;

l_i – расстояние перевозки i -го груза;

n – номенклатура грузов строительной фирмы.

В практике строительства грузовые потоки рассчитываются по каждой стройке, тем самым исключаются встречные и нерациональные перевозки грузов. В сочетании с сетевыми моделями и графиками строительства, со схемой маршрутов перевозки и транспортными коммуникациями формирование оптимальных грузовых потоков становится достаточно сложной задачей, решение которой уже невозможно без ПЭВМ и программного обеспечения.

Принципиальная схема организации перевозки грузов в строительстве показана на рис. 4.



Рис. 4. Принципиальная схема организации перевозки груза в строительстве

На рис. 4 представлены следующие элементы: ГОП – грузообразующий пункт; ГПП – грузопоглощающий пункт; DW – грузопоток перевозочного комплекса; WQ – транспортная продукция; Wc – потребности грузополучателя; Wp – плановая перевозочная возможность перевозочного комплекса; Wk – фактическая провозная возможность перевозочного комплекса; O1, O2, O3 – операторы.

Под грузообразующими пунктами понимаются строительные предприятия и организации, с которых вывозятся их строительная продукция и отходы производства.

Под грузопоглощающими пунктами понимаются строительные предприятия и организации, на которые завозятся сырье, топливо, материалы, готовая строительная продукция и другие грузы, необходимые для их нормальной производственно-строительной деятельности.

Расположение грузообразующих и грузопоглощающих пунктов определяется, с одной стороны, природными условиями (шахты, карьеры и т.п.), а с другой – более или менее случайными факторами [2, с. 23–25].

Одно и то же строительное предприятие может быть одновременно грузообразующим и грузопоглощающим пунктом. Например, завод железобетонных изделий как вывозящий готовую продукцию является грузообразующим пунктом, а как ввозящий сырье – песок, щебень, цемент и т.д. – грузопоглощающим.

В принципиальной схеме (рис. 4) можно выделить два контура. Первый (ГОП) – количество груза, доставленного грузополучателю WQ, должно соответствовать грузопотоку перевозочного комплекса W(t). Разница между входом и выходом DW = W(t) – WQ подается по цепи обратной связи на грузообразующий пункт и через оператора O1 изменяет плановую величину провозной возможности перевозочного комплекса. Оператор O1 приводит в соответствие связь между грузопотоком и провозной возможностью перевозочного комплекса. Планируемая величина его провозной возможности Wp в свою очередь преобразуется в действительную провозную возможность Wk с помощью оператора O2.

Второй контур (ГПП) представляет собой изменения в объеме перевозок, связанные со спросом получателя на данную продукцию (груз). Свои потребности он подает в виде заказов по другой цепи связи на грузообразующий пункт и перевозочный комплекс. Изменение потребности получателя в данном грузе влияет на действительную провозную возможность, что отражается прежде всего на выходе системы. Это действие выполняется оператором O3.

Операторы должны регулировать потоки и оптимизировать транспорт. Большим резервом оптимизации транспорта является процесс аутсорсинга, т.е. «сбрасывания» подрядных работ независимым предприятиям.

Для определения вида транспорта используются общие рекомендации.

Использование автотранспорта оправдано на расстояниях менее 200 км и при перевозке грузов массой до 20 т. В противном случае более целесообразным является привлечение железнодорожного транспорта. В этом случае необходимо учитывать наличие/отсутствие железнодорожных терминалов в пунктах ГП_{вн} и ГП_{вф}.

Водный (в РБ – речной) транспорт применяется при наличии водных коммуникаций и средств кратчайших погрузки/выгрузки для

массовых и навалочных строительных грузов массой более 200 т и не требующих особых условий перевозки (изоляция, соблюдения температурного режима).

Для определения типа подвижного состава используются общие и частные рекомендации.

Расчетных методик для подбора железнодорожных вагонов нет. Чаще всего строительные фирмы используют следующие типы вагонов: четырехосный цельнометаллический (в основном для тарноштучных грузов); восьмиосный полувагон цельнометаллический (для массовых навалочных и лесных грузов); четырехосную платформу с металлическими бортами (для нерудного сырья, кирпич и др.). Для перевозки крупногабаритных строительных конструкций используются двадцатиосные транспортеры.

Для сыпучих используются думпкары, хопперы, бункерные вагоны, цистерны (цементовозы).

Рассмотрим общие рекомендации выбора типа автотранспорта. Выбор между тягачом и автомобилем.

Тягачи со сменными прицепами (полуприцепами) рациональнее использовать на коротких расстояниях, так как время на перецепку прицепных систем меньше времени простоя под погрузкой и разгрузкой. Если тягач эксплуатируется без перецепки прицепных систем, его работа приближается к работе автомобиля соответствующей грузоподъемности. С увеличением расстояния перевозки преимущество автомобилей по сравнению с тягачом возрастает, так как первые имеют большую скорость движения, и отношение времени движения ко времени простоя под погрузкой и разгрузкой растет. Можно установить такое расстояние, при котором производительность тягача и автомобиля будет одинакова. Это расстояние называется равноценным, так как при нем одинаково выгодно применять тягач и автомобиль.

Величину равноценного расстояния определяют из условий равенства производительности автомобиля и тягача.

Часовая производительность автомобиля:

$$P_{ч.А} = \frac{Q_A \cdot \gamma \cdot \beta \cdot V_{Т.А}}{L_{э.е} + \beta \cdot V_{Т.А} \cdot T_{П.П}} \quad (3)$$

Часовая производительность тягача:

$$P_{ч.ТГ} = \frac{Q_{ТГ} \cdot \gamma \cdot \beta \cdot V_{Т.ТГ}}{L_{э.е} + \beta \cdot V_{Т.ТГ} \cdot T_{П.П}}, \quad (4)$$

где Q_А, Q_{ТГ} – грузоподъемность автомобиля и буксируемых тягачом прицепных систем;

V_{Т.А}, V_{Т.ТГ} – техническая скорость автомобиля и тягача;

T_{П.П} – время на перецепку прицепов;

γ – коэффициент статического использования грузоподъемности;

β – коэффициент использования пробега;

L_{э.е} – длина груженой ездки;

T_{П.Р} – время простоя под погрузкой.

Если P_{ч.А} = P_{ч.ТГ}, то длина груженой ездки будет соответствовать равноценному расстоянию, т.е. L_{э.е} = L_Р.

Если приравнять первые две формулы, то выводится:

$$L_P = \frac{\beta \cdot V_{Т.А} \cdot V_{Т.ТГ} (Q_A \cdot T_{П.Р} - Q_{ТГ} \cdot T_{П.П})}{Q_A \cdot V_{Т.А} - Q_{ТГ} \cdot T_{Т.ТГ}} \text{ км.} \quad (5)$$

Полученное расчетным путем равноценное расстояние сравнивают с расстоянием перевозки. Если расстояние перевозки меньше равноценного, то следует применить тягач, если больше – автомобиль.

Возможны еще два случая: при определении равноценного расстояния в знаменателе получилась отрицательная величина, тогда следует выбрать тягач, так как произведение QV представляет собой часовую производительность, а при отрицательном знаменателе – тягач. При отрицательном числителе – автомобиль.

Выбор типа автомобиля для установленного объема перевозок.

Тип автомобиля следует выбирать исходя из максимальной производительности и наименьшей себестоимости сравниваемых моделей при работе в одинаковых условиях. Наилучшие результаты

дает выбор типа ПС по себестоимости. По существующей калькуляции все расходы делятся на три группы.

Переменные расходы. Исчисляются на 1 км пробега. К ним относятся:

- заработная плата шофера;
- расходы на ГСМ;
- техобслуживание и ремонт;
- амортизационные отчисления;
- расходы на шины.

Постоянные расходы. Исчисляется на 1 автомобиле-ч. и включает расходы на организацию работы ПС:

- зарплата администрации;
- затраты на ремонт и эксплуатацию зданий;
- канцелярские, почтово-телеграфные, техника безопасности и др.

Зарплата шоферов включает оплату перевезенных тонн и выполненные т-км, доплаты за классность, дополнительную зарплату, соцстрах. Себестоимость 1 км определяется.

$$S = \frac{1}{Q \cdot \gamma} \left(\frac{P_{ПЕР} + P_{ПОС} \cdot V_T}{\beta} + \frac{P_{ПОС} \cdot T_{ПР} + 3_{П}}{L_{э.е}} \right) \text{руб./1ткм.} \quad (6)$$

где $P_{ПЕР}$ – сумма переменных расходов на 1 км, руб.;

$L_{э.е.}$ – длина груженой ездки автомобиля за одну езду, км;

$P_{ПОС}$ – сумма постоянных расходов на 1 автомобиле-ч, руб.;

$3_{П}$ – зарплата шоферов с начислениями за одну езду, руб.;

$T_{ПР}$ – время простоя под погрузкой и разгрузкой;

β – коэффициент использования пробега.

При решении задачи определяют себестоимость 1 ткм сравниваемых автомобилей и выбирают тот, у которого себестоимость ниже. Так же можно выбирать по грузоподъемности и удельному расходу топлива.

При выборе транспортного средства по критерию «удельный расход топлива» пользуются формулой:

$$H = \left(\frac{H_0}{100} \cdot Q \cdot \beta \cdot \gamma \right) + \frac{H_d}{100}. \quad (7)$$

При решении задачи определяют расход топлива на 1 км сравниваемых автомобилей и выбирают тот, у которого расход топлива меньше.

При выборе транспортного средства по критерию грузоподъемность пользуются формулой:

$$\tau = \frac{L}{\gamma \cdot V \cdot T_{ПР}}. \quad (8)$$

При решении задачи определяют данный критерий сравниваемых автомобилей и выбирают наибольший.

Сравнение выгоды бортового автомобиля и самосвала.

Преимущество самосвала перед бортовым автомобилем состоит в уменьшении времени простоя под разгрузкой, и поэтому самосвалы выгоднее применять на короткие расстояния. С увеличением расстояния преимущество самосвала уменьшается, т.к. у него грузоподъемность меньше, чем у базового бортового автомобиля, снижается удельный вес простоя под разгрузкой к общему времени ездки. В данном случае задача выбора опять сводится к определению равноценного расстояния:

$$L_p = \beta \cdot V_T \cdot \left(\frac{Q\beta \cdot \Delta T}{\Delta Q} - \Delta T \right), \quad (9)$$

где ΔQ – потеря грузоподъемности самосвала по сравнению с бортовым автомобилем, т;

ΔT – выигрыш во времени разгрузки самосвала по сравнению с бортовым автомобилем;

β – коэффициент использования пробега.

Для перевозки сыпучих и навалочных строительных грузов обычно используют самосвалы и думпферы. Пылящие грузы перевозятся в цементовозах и контейнерах. Жидкие и полужидкие грузы – в контейнерах, растворо-бетоновозах и бетоносмесителях, цистернах, самосвалах, битумовозах. Строительные конструкции перевозятся на платформах, прицепах и полуприцепах. Универсальный подвиж-

ной состав используется для консолидируемых грузов в контейнерах, таре и упаковке.

Обратим внимание на частные рекомендации подбора подвижного состава.

Тип подвижного состава автомобильного транспорта (например, бортовой автомобиль или самосвал) выбирается на основе использования:

- равноценного расстояния;
- минимальной стоимости;
- расхода топлива;
- грузоподъемности и грузовместимости [3, с. 32–35].

Следующим, 3-м этапом оптимизации транспорта является маршрутизация.

Требования к маршрутам:

- соответствие путей движения направления грузопотоков;
- полное исключение встречных и повторных перевозок;
- совместимость грузов;
- движение по кратчайшему расстоянию;
- обеспечение максимальной скорости, производительности;
- совместимость с транспортно-складским хозяйством.

Для составления маршрутов используются следующие схемы:

- маятниковые;
- кольцевые;
- челночные;
- челочно-маятниковые.

Для оптимизации схем движения используются следующие методы:

- методы составления рациональных маршрутов [3, с. 11–21];
- экономико-математические методы (транспортная задача профессора Конторовича, сетевое моделирование) [4, с. 92–121];
- графоаналитические методы: топографический (картографический) и метод сейфов [5, с. 80–81];

Метод составления рациональных маршрутов профессора Толстого А.Н.

Маршруты должны соответствовать «Графику привязки поставок к поставщику» и «Транспортно-комплекточному графику» входящих в состав «Унифицированной нормативно-технологической документации на строительство».

4-й этап – календаризация маршрутов основан на сетевом моделировании перевозок или на календарном планировании строительного-монтажных работ.

5-й этап – совмещение транспорта со средствами погрузки, выгрузки и складирования предполагает подбор подъемно-транспортных машин, механизмов и расчёте необходимого складского оборудования [1, с. 50–77].

Заключение. Оптимизация транспорта в строительстве представляет собой процесс:

- определения направлений и объёмов перевозок;
- выбора типа, вида транспорта;
- маршрутизации и календаризации перевозок;
- совмещения транспорта со средствами погрузки, выгрузки и складирования.

Реализация предлагаемой методики частично апробирована на строительных предприятиях Брестской области. Ожидаемый эффект может составить до 20 % снижения транспортных издержек. Кроме того, эффект выражается в минимизации сроков доставки, а следовательно, и сроков строительства в повышении качества перевозок.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Павлючук, Ю.Н. Логистика. Краткий курс лекций / Ю.Н. Павлючук, И.А. Кулаков – Брест: БрГТУ, 2012. – 72с.
2. Воронков, А.Н. Транспортно-складская логистика / А.Н. Воронков, Т.И. Лопаткина – Н.Новгород: ННГАСУ, 2010. – 146с.
3. Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Логистика» для студентов специальности 25 01 09 «Коммерческая деятельность» / И.А. Кулаков, Е.В. Пипко – Брест: БрГТУ, 2003. – 39с.
4. Дроздов, П.А. Основы логистики: учебное пособие. – Минск: Издательство Гревцова, 2008. – 208с.
5. Ванчукевич, В.Ф. Автомобильные перевозки. – Мн.: Дизайн ПРО, 1999. – 224 с.

Материал поступил в редакцию 12.03.13

The article reveals the stages of optimization of transportation and logistic provision in building. Are worked out the methods of transport optimization in building. The realization of the offered principles can help reduce transportation expenses.

УДК 621.762:620

Дашкевич В.Г., Пивоварчик А.А., Щербаков В.Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ БОРИДНЫХ И ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА

Введение. В мировой практике известно много случаев взрывов и пожаров на промышленных предприятиях, вызванных воспламенением горючих смесей от фрикционных искр, например при пробуксовывании колес грузоподъемного оборудования, от нагрева трущихся и соударяющихся стальных деталей вентиляторов, от ударов стальных предметов о корродированную сталь и о стальную корродированную поверхность, покрытую алюминиевой пылью или краской.

В настоящее время в Республике Беларусь действует большое количество предприятий, которые имеют взрывоопасные производства. Применяющиеся в производственных процессах горючие жидкости или газы на таких предприятиях могут выделяться в атмосферу и в результате их соединения с кислородом образовывать взрывоопасную смесь. На нефтеперерабатывающих заводах одним из самых опасных газов является водород.

Известно, что фрикционное искрообразование проявляется в результате перехода механической энергии в тепловую при ударах подвижных частей деталей машин о неподвижные. При достаточно сильных ударах отрывающиеся частицы материала размером 0,1–0,5 мм нагреваются, окисляются кислородом воздуха и сгорают [1, 2]. В работе [2] показано, что из распространенных в технике горючих газов и паров только пять образуют с воздухом смеси поджигаемые фрикционными искрами: H_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , CS_2 , CO ; а смеси предельных и ароматических углеводородов, пропилена, спиртов, альдегидов, кетонов, эфиров искробезопасны. Для смесей CO , C_2H_2 минимальная для фрикционного поджигания концентрация составляет соответственно 32 %, 42 %, максимальная 80 % и 76 %. Для CO и C_2H_2 максимальная концентрация в смесях, еще поджигаемые фрикционными искрами, меньше стехиометрической, т.е. эти искры не поджигают наиболее опасные смеси. Кроме технических газов, наиболее распространенными опасными материалами являются также сырая нефть и продукты ее переработки, спирты, металлическая пыль (например, алюминиевая), угольная пыль, мука, крахмал, зерно, волокна. Фрикционные искры, попав на поверхность с отложениями горючих пылей или волокон, могут приводить к появлению очагов тления - мощных источников зажигания, которые способны воспламенять различные горючие смеси. Поэтому на таких производствах введены ограничения на использование искрообразующих материалов. Применение в таком случае изделий в соответствующем искробезопасном исполнении дает возможность сохранить традиционную практику использования оборудования без дополнительных мер.

В зарубежной практике высокая степень искробезопасности, например для ручного инструмента, обеспечивается, как правило, бронзовыми сплавами. Это ручной искробезопасный инструмент фирмы Endres Tool (Германия), который производится из специальной бронзы и обладает высокими искрозащитными и антикоррозийными свойствам, инструмент итальянского концерна Metalminotti, международной компании Cotrem group. Искробезопасный инструмент торговой марки Sestrum изготавливается из бериллиевых

бронз марок БрБ2, БрБНТ, ООО "Каиндл-Урал" (Россия) занимается производством ручного искробезопасного инструмента не только из сплавов алюминия и меди, а также омедненного инструмента [3].

В настоящее время искробезопасность достигается различными способами. Самый надежный и безопасный вариант – изготовление деталей и инструмента целиком из неискрящего сплава. Другой вариант – покрытие стали слоем искробезопасного материала. Обычно это омеднение. Покрытие не дает искры при ударе, но толщина покрытия и его износостойкость невелики, для интенсивных работ он недостаточно надежен. С практической точки зрения изготавливать детали целиком из бронзового сплава более целесообразно. Но в таком случае серьезным ограничителем являются прочностные свойства и дороговизна сплавов на основе меди. В последнее время в качестве искробезопасного медного сплава получила распространение бериллиевая бронза. При достаточно высокой прочности она обладает пониженной, по сравнению с конструкционными сталями, твердостью. В результате, при ударе детали из бериллиевой бронзы о сталь не образуется искр. Такой инструмент находит применение при ремонтных работах в газовой и нефтедобывающей промышленности. Однако бериллиевая бронза, в силу высокой стоимости бериллия, сама по себе дорогой сплав. Мало того, она является еще и материалом, вызывающим профессиональные заболевания, что заставляет принимать особые меры по охране труда. Поэтому для изготовления искробезопасного инструмента используют также другие бронзы (чаще всего алюминиевые), которые не обладают столь высоким комплексом механических свойств, как бериллиевая бронза, но не столь дороги и более безопасны в производстве [4].

В ограниченном количестве для производства деталей и инструмента применяются другие цветные металлы и сплавы, например свинец или алюминиевые сплавы. Еще реже используются детали и инструмент из легированных сталей и титановых сплавов.

Алюминий и его сплавы сравнительно дешевы, легки, удобны для обработки и широко распространены. Тем не менее, опасное искрообразование, приводящее к поджиганию любых горючих смесей, возможно при истирании алюминия ржавым железом. Это объясняется образованием термитов – смесей алюминия и окиси железа. Нагревание при трении инициирует их взаимодействие, восстановление окиси железа алюминием, что приводит к нагреванию до 3000 °С. Добавки олова, цинка, меди к алюминию не предотвращают возможности искрообразования. Добавки магния в алюминиевых сплавах увеличивают искробезопасность.

Необходимо отметить, что до настоящего времени четкой позиции по наиболее эффективному материалу и технологии производства искробезопасных деталей, работающих в условиях фрикционного контакта, нет. Часто встречается ситуация, когда производители выбирают путь применения мягких и соответственно не износостойких цельнометаллических материалов без покрытий, поскольку износостойкие сплавы более твердые и поэтому склонны к интенсивному искрообразованию.

Дашкевич Владимир Георгиевич, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры «Материаловедение в машиностроении» Белорусского национального технического университета.

Пивоварчик Александр Антонович, кандидат технических наук, инженер кафедры «Металлургия литейных сплавов» Белорусского национального технического университета.

Щербаков Вячеслав Геннадьевич, ассистент кафедры «Материаловедение в машиностроении» Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 1, e-mail: materialovedenie@mail.ru.