

оборудования, высокой культуры труда эксплуатационного персонала горок, соблюдения всех технологических предписаний изготовителей. В связи с этим, ставится вопрос нового технического решения при конструировании и проектировании механизмов вагонных замедлителей, способных обеспечивать требуемые параметры управления скоростью скатывания отцепов и их движения по сортировочным путям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелухин В.И. Автоматизация и механизация сортировочных горок. Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. М., Маршрут, 2005, 240 с.

УДК 629.45/46(075)

**Кузьменко Владимир Николаевич – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)
Ивановцева Наталья Викторовна – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)**

ОБ АЛГОРИТМЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Задача оптимизации параметров грузовых вагонов является одной из наиболее важных и вместе тем, трудоемких задач, решаемых на стадии проектирования вагонных конструкций. Актуальность этой задачи предопределяется тем большим экономическим эффектом, который достигается при внедрении в эксплуатацию варианта вагона, имеющего оптимальные параметры или близкие к таковым.

Значительные вычислительные трудности, которые приходится преодолевать в процессе поиска наиболее совершенного варианта вагона, обусловлены необходимостью строгого учета влияния многих исходных факторов, характеризующих условия эксплуатации вагона, его взаимодействия с различными компонентами транспортной системы в целом. К числу таких факторов должны быть отнесены, например, современный уровень, а также перспективы развития экономики страны, технического оснащения ж.д. транспорта, научной и инженерно-конструкторской мысли в вагоностроении и др.

Весь комплекс многообразных функциональных связей, которое объективно существует между параметрами вагона, с одной стороны, и указанными факторами – с другой можно эффективно описать в формализованном виде и исследовать только на базе использования современной вычислительной техники. Применение компьютеров позволяет создать развитую и гибкую структуру исходных данных, которая может рассматриваться как система исходных ограничений, описывающих заданные условия проектирования и количественно отражающих отмеченные выше факторы. Последнее реализуется в форме задания, например, номенклатуры планируемых к перевозке в данном вагоне грузов, дальности перевозки, величины порожнего пробега, нормативных показателей, характеризующих габаритные ограничения, техническое состояние пути и мостов, а также задания прогрессивных конструкционных материалов и конструктивных схем для кузова, ходовых частей и т.д.

Такая система исходных данных дает возможность осуществить математическое моделирование различных вариантов вагонных конструкций и оперативно получить всю необходимую информацию для проведения их сравнительного анализа, который может быть строгим только с привлечением экономического критерия оценки.

Методика и вычислительная процедура выбора оптимальных параметров предусматривает решение двух основных задач, которые возникают в процессе проектирования вагонных конструкций.

Первая задача сводится к выявлению и обоснованию оптимальных основных линейных размеров и соответствующих им параметров вагона для некоторых заданных условий его эксплуатации и конструктивной схемы. Необходимость решения такой задачи обычно возникает в том случае, когда конструктивная схема вагона по каким-либо причинам заранее predetermined, т.е. заданы геометрическая форма кузова, схема расположения на его наружной поверхности различных выступающих конструктивных элементов, тип ходовых частей и т.п. в рассматриваемом случае различия в параметрах всех привлекаемых для сравнения вариантов вагона обусловлены только разными их линейными размерами при сохранении остальных исходных ограничений.

Вторая задача носит более общий характер и предусматривает поиск и обоснование оптимальных параметров в результате, варьирования не только линейными размерами вагона, но и различными конструктивными факторами, которые согласуются с заданными условиями проектирования (например, осностью вагона).

В этом случае достижение поставленной цели осуществляется за два этапа. Сначала для каждого из рассматриваемых вариантов конструктивной схемы вагона выполняется решение первой из обсуждаемых задач. Затем проводится сопоставление между собой всех вариантов с выявленными оптимальными параметрами. В результате этого обеспечивается строгое экономическое обоснование степени целесообразности предлагаемого инженерного решения.

Таким образом, основная вычислительная процедура при решении обоих типов задач связана с процессом варьирования некоторыми линейными размерами вагона. Применительно ко второй задаче такая процедура повторяется для каждой исследуемой конструктивной схемы, которая моделируется путем соответствующего задания исходной информации.

При построении исследуемого ряда всех возможных вариантов вагона с заданной конструктивной схемой очень важным вопросом с методических и вычислительных позиций является вопрос о выявлении таких независимых геометрических параметров вагона (нескольких или одного), от которых бы зависели все остальные его параметры, и эти функциональные связи были бы наиболее простыми для проведения расчетов.

Как показали выполненные научные исследования [1], в качестве основного независимого параметра вагона удобно рассматривать внутреннюю длину кузова $2L_v$. Действительно, если при этом допустить, что площадь поперечного сечения кузова вагона не зависит от его длины, т.е. является некоторой заданной характеристикой, удовлетворяющей исходным габаритным ограничениям, то в этом наиболее простом случае через выбранный независимый аргумент могут быть однозначно выражены три основных зависимых параметра конструкции: тара T , грузоподъемность P и объем кузова V , оптимальные значения которых всегда интересуют исследователя.

При более строгом подходе к решению задачи геометрия поперечного сечения кузова вагона должна рассматриваться переменной. Для полного использования габаритных возможностей максимально допустимую внутреннюю ширину следует выбирать в результате вписывания в заданный габарит подвижного состава. Известная методика габаритных расчетов [2,3] позволяет считать искомую внутреннюю ширину как некоторую функцию двух независимых переменных: внутренней длины кузова $2L_v$ и базы вагона $2l$. Очевидно, что в этом случае должны быть установлены разумные пределы изменения указанных аргументов, отвечающие их физическому смыслу.

Для каждого конкретного типа вагона аргумент $2L_v$ различно связан с тем геометрическим размером кузова $2L'_v$, который влияет на его наибольшую ширину. Применительно к цистерне, где в качестве аргумента $2L_v$ можно условно принимать длину цилиндрической части котла, последняя совпадает с величиной $2L'_v$. Для полувагона параметр $2L'_v$ представляет собой длину кузова по раме $2L_p$, которая выражается через внутреннюю длину кузова $2L_v$.

На величины объема кузова, тары, а следовательно, и грузоподъемности полувагона в отличие от цистерны с цилиндрическим котлом влияют не только внутренняя ширина и длина, но и внутренняя высота кузова $H_в$. Этот линейный размер является независимым по отношению к длине кузова и базе вагона и поэтому все основные параметры полувагона необходимо рассматривать в общем случае как функции трех независимых аргументов.

$$T = f_1(2L_в, 2l, H_в); P = f_2(2L_в, 2l, H_в); V = f_3(2L_в, 2l, H_в) \quad (1)$$

Эти же параметры для случая цистерны являются функциями только двух независимых аргументов: внутренней длины котла и базы вагона.

Раскрытие функциональных связей (1) в процессе последовательного варьирования выбранными независимыми аргументами дает возможность проследить за поведением исследуемых параметров конструкции для заданных исходных условий проектирования. Однако, исходя только из анализа этих функций, нельзя достаточно правильно выбрать наиболее рациональные значения искомых параметров, так как ни один из них не может служить обоснованным критерием степени совершенства вагона.

Значительно строже можно судить об ожидаемых рациональных параметрах проектируемого вагона, анализируя характер влияния указанных независимых аргументов на ряд важных его технико-экономических показателей. На величину последних, наряду с основными зависимыми параметрами вагона, большое влияние оказывают характеристики перевозимого в нем полезного груза (или семейства различных грузов). В связи с этим технико-экономические показатели вагона количественно оценивают, в какой степени рассматриваемый вариант конструкции удовлетворяет заданным условиям эксплуатации. К числу важных технико-экономических показателей вагона следует отнести: средние (по всем видам грузов) статическую P_c нагрузку (масса полезного груза, которую можно загрузить в кузов), динамическую нагрузку $\overline{P_{дин}}$, погонную нагрузку нетто $\overline{q_{ин}}$, погрузочный коэффициент тары $\overline{K_n}$, и фактическую нагрузку на ось брутто $\overline{\rho_0}$.

Таким образом, в рамках заданной номенклатуры грузов, планируемых для перевозки в проектируемом вагоне, все отмеченные выше технико-экономические показатели можно рассматривать как некоторые сложные функции основных зависимых параметров конструкции.

$$\begin{aligned} \overline{P_c} &= \varphi_1(T, P, V); \overline{P_{дин}} = \varphi_2(T, P, V); \\ \overline{q_{ин}} &= \varphi_3(T, P, V); \overline{K_n} = \varphi_4(T, P, V); \overline{\rho_0} = \varphi_5(T, P, V). \end{aligned} \quad (2)$$

Практика решения задач по оптимизации параметров грузовых вагонов, предназначенных для перевозки семейства различных грузов, убедительно показывает, что каждый из технико-экономических показателей вагона достигает своей экстремальной (максимальной или минимальной) величины при различных значениях основных независимых аргументов. Поэтому для корректного выявления оптимального варианта конструкций в качестве критерия его совершенства следует принимать обобщенный экономический показатель - приведенные затраты народного хозяйства (ж.д. транспорта и его клиентов) $C_{пр}$. На величину приведенных затрат, характеризующих все стороны производства и эксплуатации вагона, разные технико-экономические показатели оказывают различное по значимости и характеру влияния.

Искомая функциональная связь устанавливается через систему стоимостных исходных данных и вычисляемых затрат измерителей, с помощью которых принято экономически оценивать работу вагона в эксплуатации. Таким образом, достигается раскрытие сложной функции:

$$C_{пр} = F(\overline{P_c}, \overline{P_{дин}}, \overline{q_{ин}}, \overline{K_n}, \overline{\rho_0}), \quad (3)$$

На основе поведения, которой можно достоверно выявить вариант вагона, обеспечивающий минимум приведенных затрат. Этот вариант конструкции и характеризующие его основные параметры (1), а также технико-экономические показатели (2) следует считать с экономических позиций оптимальными.

Однако надо иметь в виду, что выявленный указанным способом наилучший вариант вагона должен удовлетворять и всем другим необходимым требованиям, обеспечивающим безопасность движения и надежность в эксплуатации. К таким требованиям, регламентированным в нормах [6], прежде всего, относится удовлетворение условий кинематического взаимодействия проектируемого вагона с существующим подвижным составом, условий поперечной устойчивости и прочности конструкции.

Рассматриваемый алгоритм предусматривает возможность непосредственно контролировать выполнения двух первых из перечисленных условий. С этой целью для каждого рассматриваемого варианта вагона определяются необходимые кинематические показатели, которые должны быть сопоставлены с принятыми ограничениями. Может случиться, что в результате такого анализа придется отказаться от реализации выявленного по экономическому критерию оптимального варианта конструкции и принять лучший (с возможно меньшей величиной приведенных затрат) из множества тех вариантов, которые удовлетворяют совокупности указанных условий. При этом целесообразно оценить степень вынужденного снижения экономической эффективности проектируемого вагона путем сравнения его с оптимальным вариантом.

Принятая развитая структура исходных данных, подробно описывающая конструктивные особенности исследуемого варианта вагона, позволяет формировать значения искомых параметров с учетом значений удельных масс (отнесенных к единице длины или площади) или толщин отдельных элементов металлоконструкции кузова. Принимая в качестве такой исходной информации соответствующие характеристики известных вагонов-образцов, которые удовлетворяют условиям прочности и по своей конструктивной схеме близки к исследуемому варианту, допустимо предположить, что в первом приближении, этим условиям удовлетворяет и проектируемая конструкция.

При необходимости, особенно в том случае, когда выявленный оптимальный вариант вагона по своим линейным размерам значительно отличается от принятого вагона-образца, полученные параметры можно уточнить. Для этого следует выполнить прочностной расчет исследуемого варианта и на его основе скорректировать соответствующие исходные данные, которые были использованы при первом технико-экономическом расчете. Повторное решение задачи позволит внести некоторые уточнения в искомые параметры конструкции. Блок-схема алгоритма выбора оптимальных параметров для случая цистерн показана на рисунке 1.

Изложенные основные этапы выбора и экономического обоснования оптимальных параметров и конструктивной схемы для двух основных типов грузовых вагонов – цистерн и полувагонов показывают, что рассмотренная вычислительная процедура располагает большими возможностями, она учитывает многие, но не все важные факторы, которые оказывают заметное влияние на искомые параметры вагонов. Нерассмотренными остаются, например, сложные вопросы оценки взаимосвязи параметров и конструктивной схемы вагона с его динамическими характеристиками (коэффициентами динамики, показателями воздействия вагона на путь и др.). Не исключено, что проведение таких исследований даст основания для некоторого уточнения параметров конструкции. Это следует учитывать при строгой оценке результатов решения задач по предлагаемой методике.

Конечной целью излагаемой достаточно сложной вычислительной процедуры является раскрытие тех функциональных связей, которые были намечены выше: между выбранными независимыми аргументами (внутренней длиной кузова и базой, а также внутренней высотой кузова в случае полувагона) и основными параметрами вагона; между этими параметрами и

технико-экономическими показателями конструкции и, наконец, последними показателями и приведенными народнохозяйственными затратами.

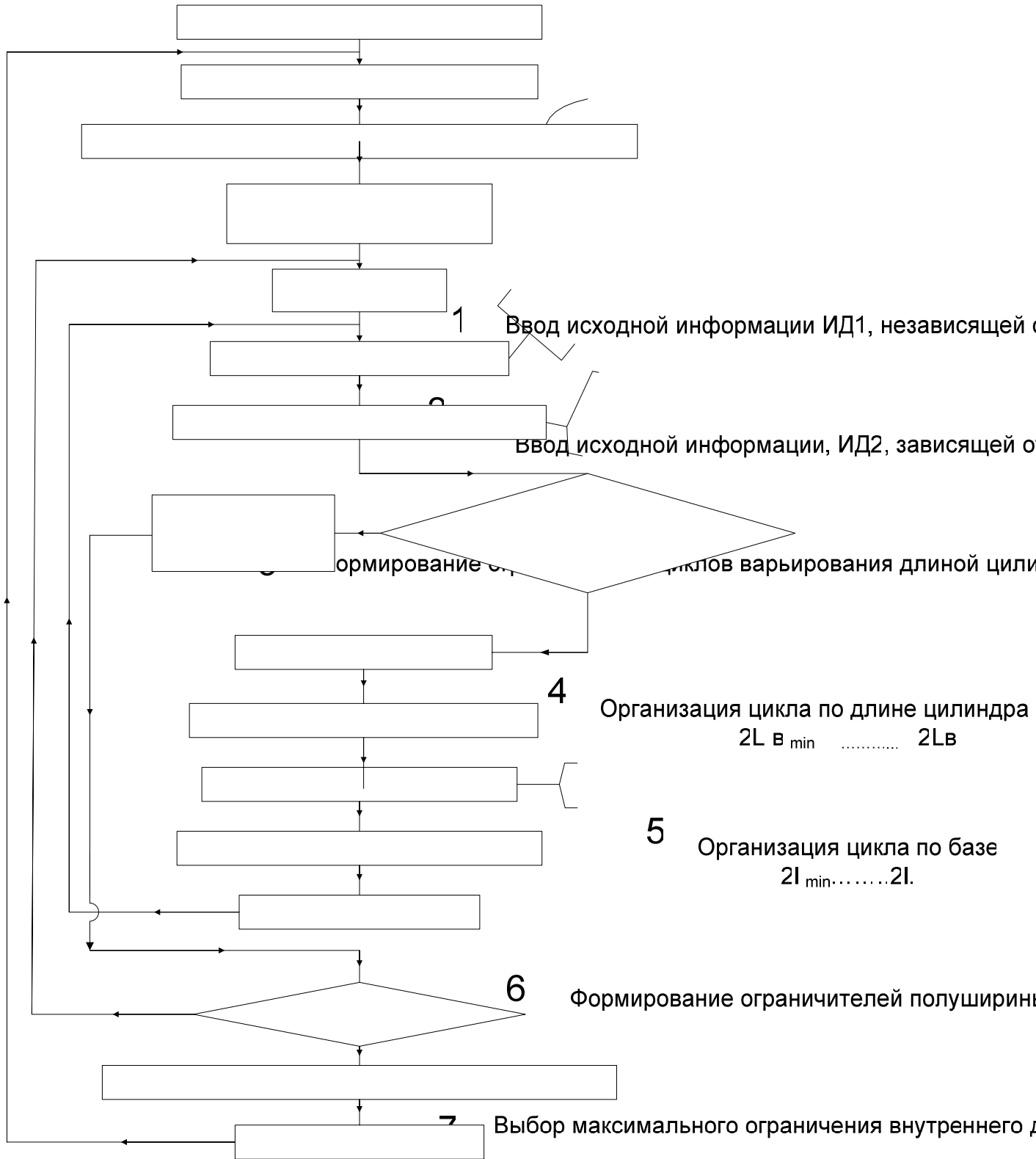


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма выбора оптимальных параметров для цистерн

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов В.М. Некоторые вопросы методики выбора оптимальных параметров грузовых вагонов /В сб. «Вопросы совершенствования большегрузных вагонов». Труды МИИТа, вып.399, 1972, с. 124-129.
2. Вагоны /Под ред. Л.А. Шадура. М., Транспорт, 1980, 402 с.
3. Лукин В.В. Выбор рационального соотношения между длиной и базой цистерны /В сб. «Исследование параметров и надежности узлов вагонов в эксплуатации». Труды ОМИИТа. Омск, т 148, 1973, с. 112-115.
4. Медведев В.П. Выбор оптимальных параметров цистерн и полувагонов с применением ЦВМ. Учебное пособие. М., МИИТ, 1977, 198 с.

УДК 625.245.26.001.24

Мусаев Жанат Султанбекович – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ НАЛИВНОГО ПОЕЗДА ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ

Республика Казахстан ежегодно увеличивает объемы добычи и транспортировки нефти и нефтепродуктов. Несмотря на то, что возрастает объем перекачиваемого углеводородного сырья по нефтепроводам, большой объем нефтепродуктов перевозится железнодорожным транспортом, основной перспективный рынок для железнодорожников – перевозка нефтепродуктов [1]. В непростой период мирового экономического кризиса производство нефтеналивных цистерн не только не замедлилось, а на некоторых предприятиях наблюдаются темпы роста производства данного вида подвижного состава. Цистерны в течение 2009 года оставались единственным беспроектным видом для российских производителей подвижного состава, поскольку нефтекомпании существенно меньше других отраслей пострадали от кризиса и перевозки нефти и нефтепродуктов стали единственным сегментом, который почти не упал (по итогам 11 месяцев 2009 года – всего на 2,6%), производство цистерн в России в январе–ноябре 2009 г. выросло более чем вдвое – на 137% [2]. В указанных обстоятельствах возрастают требования к соблюдению безопасности движения нефтеналивных поездов, поскольку крушения поездов, перевозящих углеводородное сырьё, наносят большой экологический урон окружающей среде.

Процесс взаимодействия частично заполненных цистерн при установившихся режимах движения поезда существенно отличается от процессов, возникающих при движении сухогрузного поезда. Ввиду того, что продольные колебания жидкости (а возбуждение такого вида колебаний происходит достаточно часто) вызывают появление относительных перемещений цистерн, то строго стационарного режима движения при этом не происходит. Более точно можно назвать такой режим движения квазистационарным.

Для исследования динамической устойчивости цистерн при таком режиме движения рассмотрим расчетную схему, состоящую из системы n -масс с полостями, частично заполненными жидкостью и соединенными пружинно-фрикционными связями.

Обозначим через X_i координату центра масс i -й цистерны, а через $q_{i, 2j-1}$ – величину, характеризующую движение $(2j-1)$ -й формы колебаний жидкости в i -й цистерне. Применяя методику составления уравнения продольных колебаний одиночной частично заполненной цистерны, изложенной в [3], составим уравнения движения цистерн в поезде.

Уравнения движения будут иметь вид: