

К определению рациональной толщины термоизоляции кузова транспортного средства



Частый вопрос, возникающий во время написания технического задания на создание или модернизацию изотермических вагонов и контейнеров, - какой должна быть оптимальная толщина тепловой изоляции? С точки зрения операторов эту же проблему можно сформулировать несколько иначе, но с тем же смыслом, - какова должна быть оптимальная структура парка транспортных средств по качеству их тепловой изоляции. Давайте обсудим это.

Для лучшего понимания рекомендую предварительно ознакомиться со следующими статьями:

- [Этот страшный и ужасный режим "термос"](#)
- [Возможны ли космические технологии на транспорте?](#)
- [Перевозка в рефе - нет проблем?](#)

Я постараюсь избежать большого объёма информации и конкретных расчетных формул - все это любой может написать и сам (или может обратиться ко мне, я постараюсь помочь). Главное - понять основные зависимости и логику решения подобных задач. Ну и конечно понимать, что все представленное в данной статье - лишь один из возможных подходов к решению поставленной задачи.

Балтика

Впервые задача определения рациональной толщины термоизоляции кузова возникла передо мной в 2008 году во время работ по переоборудованию парка

крытых вагонов компании Балтика в вагоны-термосы. Точнее, задач было две: определиться с предпочтительной конструкцией и основным материалом изоляции, а потом уже установить рациональную толщину.

На тот момент в компании сформировалась грамотная команда специалистов во главе со Скатиным, которые имели довольно четкие представления о том, какой должна быть логистика крупнейшей пивоваренной компании в России (до даты публикации тут фигурировала фраза о том, что пальму первенства компания удерживает до сих пор, но прямо во время публикации feedly выбросил в телефон следующий заголовок - [На пивном рынке России впервые за 24 года сменился лидер — «Балтика» уступила AB InBev Efes](#). Вот так рушатся империи).



Скатын Алексей в 2012 году

Проект переоборудования крытых вагонов в термосы Балтике был нужен не для галочки, хотя сам проект возник как результирующая трений со структурами РЖД. В компании серьезно боролись за качество перевозимой продукции собственного производства в условиях сильной рыночной конкуренции. Кроме того, серьезные нарушения в тот момент были попросту невозможны, поскольку РЖД Балтику не любили, и Скатын с Рюминым черпнули этого лиха сполна.



Рюмин Андрей и Заливина Наталья на подъездном пути завода Балтики в СПб в апреле 2015

Таким образом, Балтика была лакомым куском для проектировщиков, поскольку на тот момент была нацелена на реальную работу и реальный результат. Мы со своей стороны тоже. И насколько я знаю, ни у Скатины, ни у Рюмина к нам не было серьезных претензий.

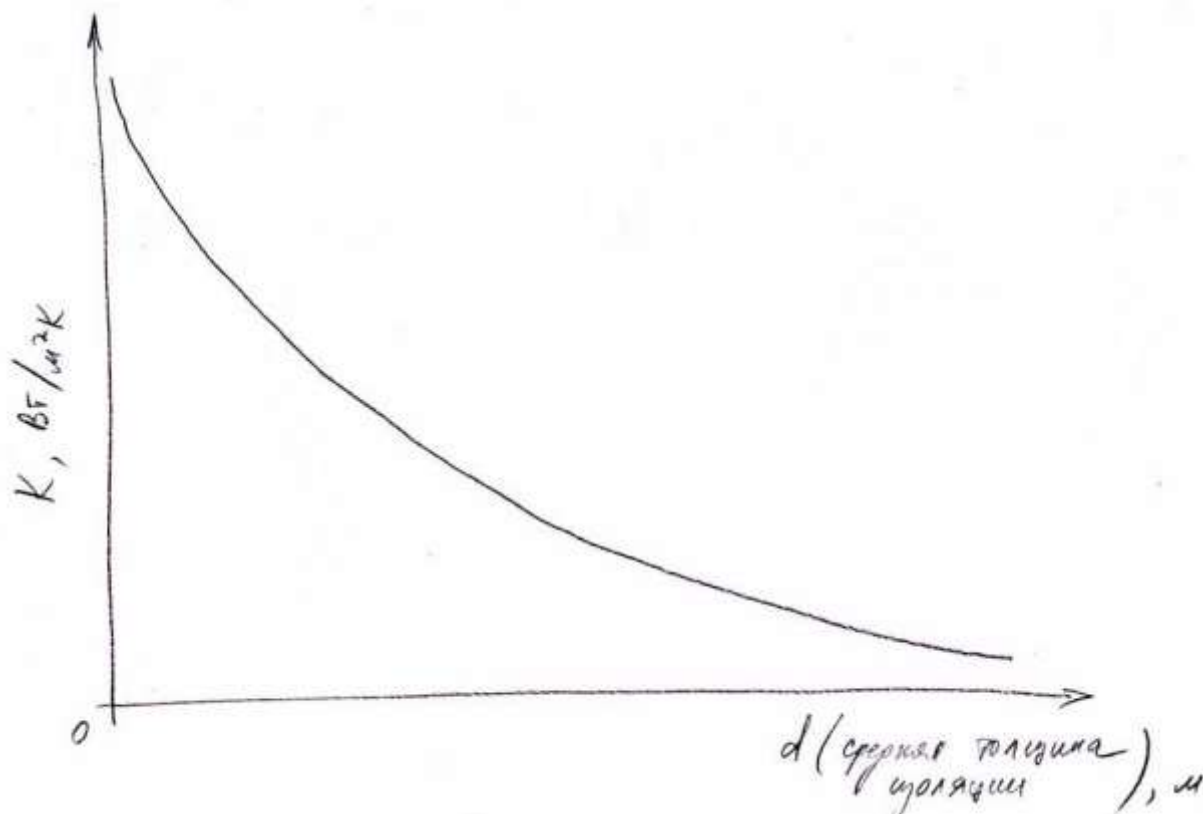
Один из первых вопросов, возникших при написании технических требований на переоборудование вагона, был предсказуем - насколько эффективной должна быть тепловая изоляция кузова? В теории ее можно сделать любой толщины, а чем больше толщина, тем при прочих равных меньше теплопередача:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{град}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum r_i}$$

Уравнение для стационарной теплопередачи через плоскую неоднородную стенку

Нетрудно заметить, в данном уравнении знаменатель содержит два постоянных слагаемых (которые с альфами) и одно слагаемое, содержащее толщину изоляции (переменная величина). Таким образом, увеличение толщины изоляции действительно будет приводить к уменьшению теплопередачи, но зависимость будет не линейной и выглядеть будет следующим образом:

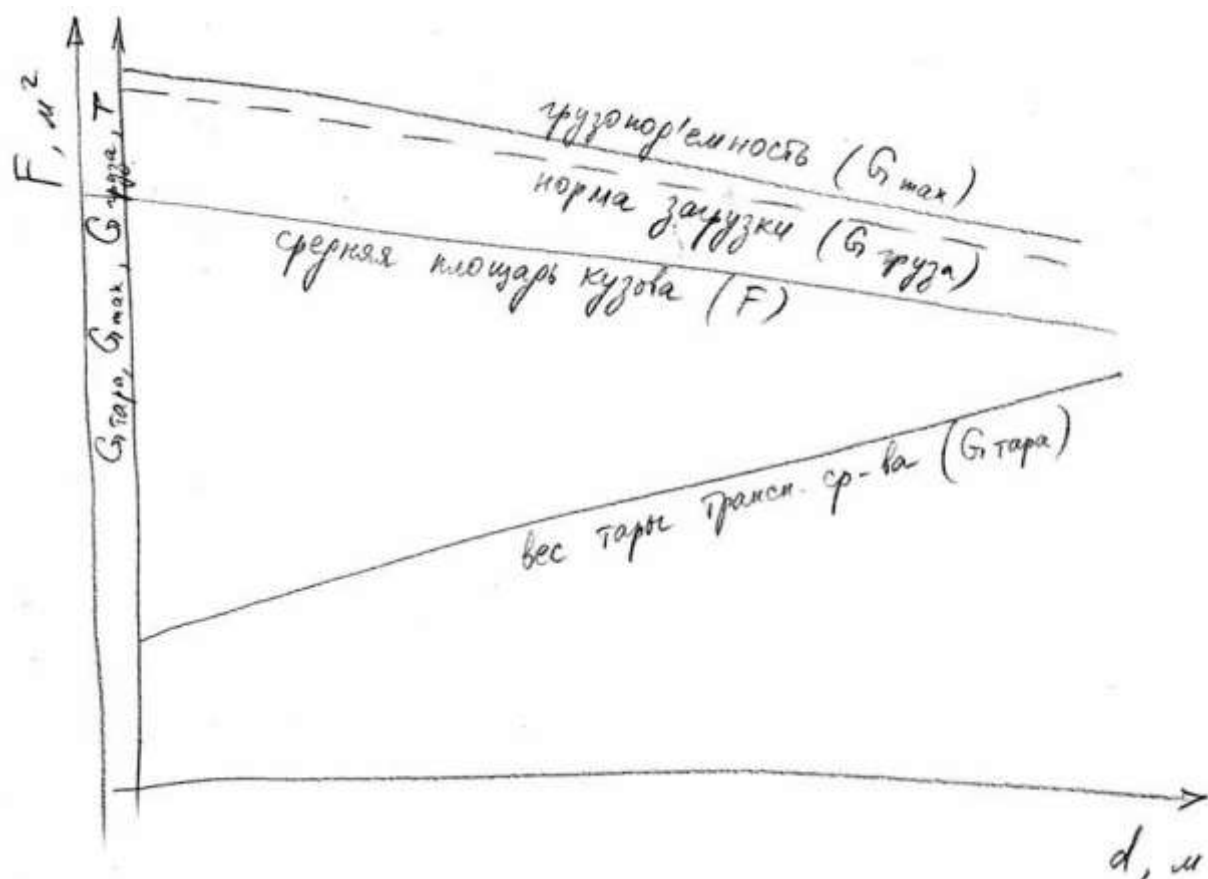


Характер изменения коэффициента теплопередачи от средней толщины изоляции

В экономических терминах данная зависимость означает следующее - эффективность вложений в толщину изоляции падает по мере ее наращивания. Можно предположить, что после определенного порога увеличение толщины изоляции теряет смысл. Но как установить значение этого порога?

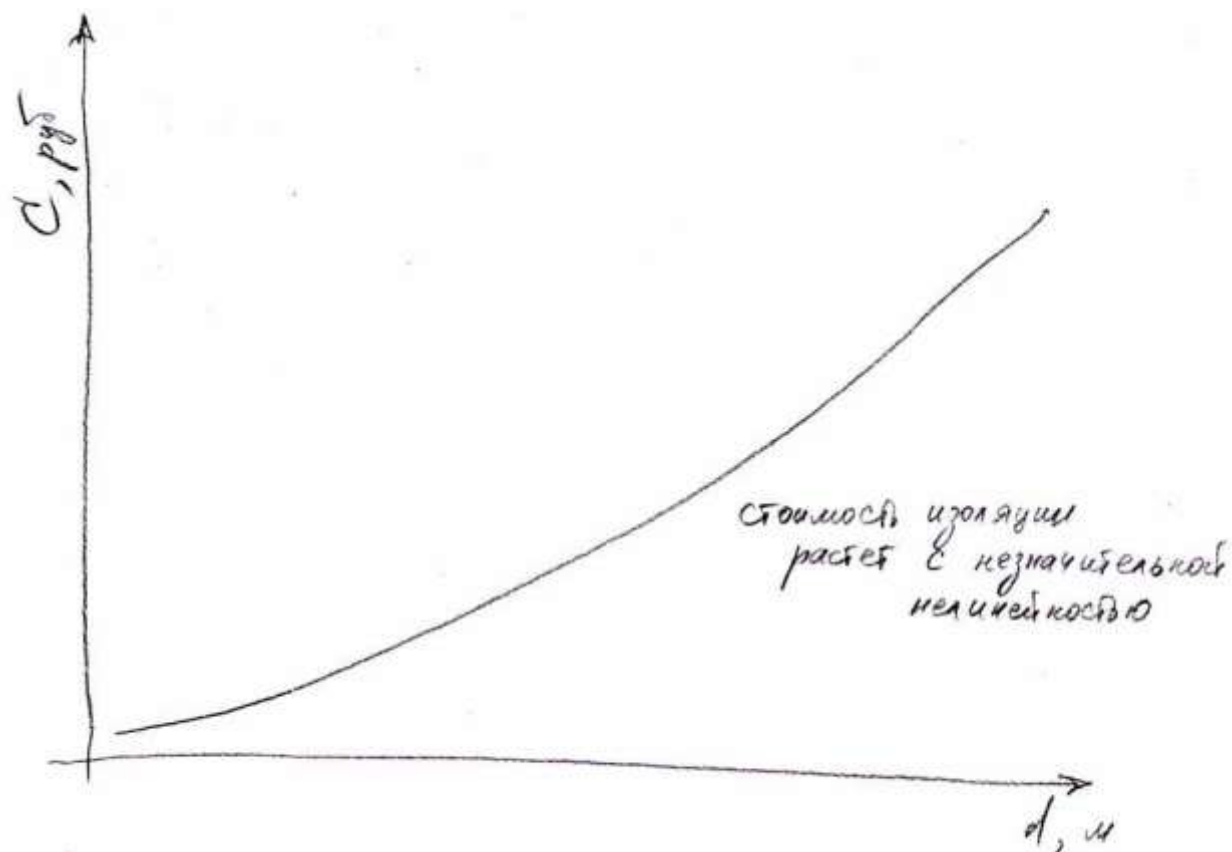
Уменьшение вместимости, грузоподъемности и прочие беды

Замедление снижения теплопередачи по мере увеличения толщины изоляции - это полбеды. Рост толщины изоляции ведёт также к росту тары транспортного средства и уменьшению погрузочного объема. Что в свою очередь ведёт к уменьшению количества груза, загружаемого в одно транспортное средство, и, как следствие, к потребности в большем количестве транспортных единиц. В то же время уменьшается средняя площадь кузова - фактор, имеющий противоположное значение вышеперечисленным.



Характер изменения тары, грузоподъемности транспортного средства, нормы загрузки, а также средней площади кузова от средней толщины изоляции

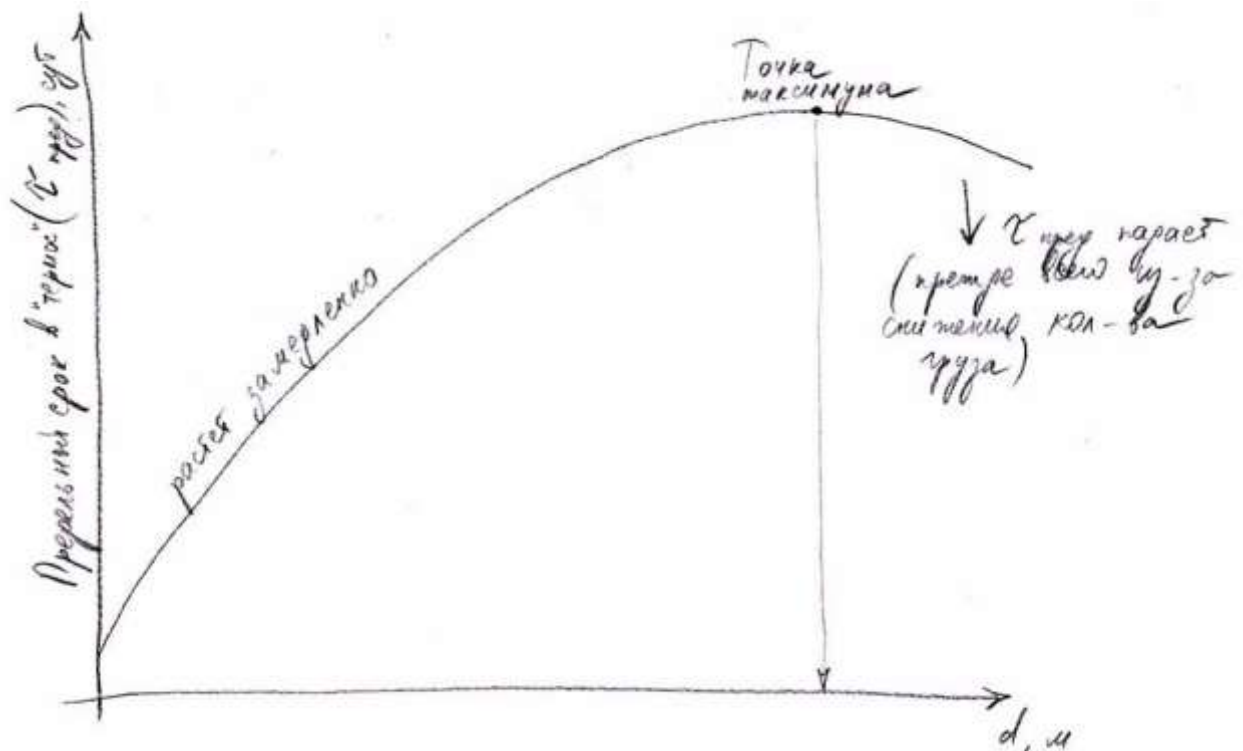
При этом стоимость изоляции с ростом толщины также растет, возрастает ее конструкционная сложность и ухудшаются эксплуатационные характеристики (ремонт чаще и дороже).



Характер изменения стоимости изоляции от ее средней толщины

Наконец, самое интересное. Для чего нам вообще необходимо наращивать толщину изоляции? Что это даёт грузоотправителю? Ответ на этот вопрос лежит в понимании тех технологических ограничений, которые сопровождают перевозки скоропорта **в режиме "термос"** и с **поддержанием температурного режима**.

При перевозке в режиме "термос" грузоотправитель, заботящийся о качестве груза, ограничен в продолжительности перевозки (определяется через предельный срок перевозки). В целом груз в режиме "термос" можно везти дольше, если теплопередача кузова транспортного средства меньше. Однако с ростом толщины изоляции теплопередача уменьшается все более медленным темпом, в то время как норма загрузки уменьшается почти линейно. Противоборство различных параметров, включенных в расчет предельного срока перевозки и зависящих в том числе от толщины изоляции, приводит к тому, что зависимость предельного срока от толщины изоляции имеет максимум:



Характер зависимости предельного срока перевозки груза в режиме "термос" от средней толщины изоляции

При перевозке с поддержанием температурного режима (например, в рефах) увеличение толщины изоляции позволяет использовать менее производительное (и, как следствие, менее дорогое) термическое оборудование, снизить расход топлива, уменьшить выбросы парниковых газов.

Разнонаправленный и в значительной степени нелинейный характер изменения совокупности параметров, позволяет предположить, что в некоторой точке аргумента (толщина изоляции) целевая функция затрат достигнет минимума. Если это так, тогда мы имеем классическую оптимизационную задачу.

Метод

Разберем метод решения подобной задачи.

Имеем математическую модель тепловой изоляции кузова транспортного средства, в качестве параметра которой выступает средняя толщина. Часто бывает удобно пользоваться не абсолютным значением толщины, а ее приращением к минимальному значению, устанавливаемому в соответствии с особенностями конструкции изоляции в различных элементах кузова. В частности, именно так и делалось по Балтике, а сама математическая модель была разработана в системах проектирования Matlab и AutoCAD.

На базе разработанной математической модели для конкретного значения параметра толщины изоляции производится расчет следующих величин:

- коэффициент теплопередачи (в соответствии со СНиП II-3-79) с учётом выявленных при проектировании мостиков холода;
- количество, размер и вес элементов конструкции изоляции;
- площадь средней поверхности кузова.

Далее можем рассчитать ряд производных величин:

- дополнительную массу тары транспортного средства и изменение его максимальной грузоподъёмности;
- изменение погрузочной площади пола и погрузочного объема кузова;
- изменение стоимости изоляции (в качестве стоимостей элементов конструкции изоляции могут использоваться рыночные цены или соответствующие им индексы цен). Несколько сложнее со стоимостью рабочего времени - но грубо его можно принять в некоей пропорции от стоимости элементов конструкции изоляции (безусловно, достаточное вольное упрощение).

Далее зададимся расчётными параметрами перевозимого груза, определив их как средневзвешенные величины в долях от объема перевозок (на любом производстве и у любого оператора эти данные в том или ином виде имеются).

Зная расчетные параметры груза определим следующие величины:

- норму загрузки транспортного средства расчетным грузом;
- потребный парк транспортных средств;
- технологические ограничения (предельный срок перевозки в режиме "термос" и др. в зависимости от типа и варианта использования проектируемого транспортного средства).

При формировании целевой функции затрат будем учитывать следующие расходы:

- 1) Совокупную стоимость создания парка транспортных средств для перевозок заданного объема груза, куда помимо затрат на материалы, термическое оборудование и работу необходимо также включить затраты на потребное увеличение парка или привлечение дополнительного парка у сторонних операторов (аренда). Данную величину затрат необходимо отнести к сроку окупаемости проекта.
- 2) Эксплуатационные расходы, включая такие специфические как термическая подготовка груза (в том числе при ступенчатой доставке груза, когда не хватает предельного срока перевозки в режиме "термос"), стоимость топлива, ремонты кузова и термического оборудования, привлеченный парк транспортных средств для освоения планируемой географии перевозок при срабатывании технологических ограничителей).

Разумеется, это не полный перечень затрат, но достаточный, чтобы понять логику. Также не вызывают сомнения трудности, с которыми придется столкнуться при поисках стоимостей по измерителям. Однако в каком-то приближении данная задача всегда имеет решение.

Реализация

Итак, для Балтики была разработана примерно такая нехитрая методичка:



Определение рациональной средней толщины теплоизоляции в ограждениях кузова ИВ

Целью второй части методики является определение рациональной средней толщины теплоизоляции.

Под средней толщиной теплоизоляции понимается средняя по всем элементам кузова (стены, пол, потолок, двери) толщина основного теплоизоляционного слоя ограждений кузова ИВ.

Выбор рациональной средней толщины теплоизоляции производится по затратам, изменяющимся от толщины теплоизоляции, путем использования модифицированных показателей эффективности. Эффективному варианту соответствует максимум сравнительного интегрального эффекта, отличающегося от общей его величины тем, что не учитывает не изменяющиеся по вариантам средней толщины теплоизоляции составляющие.

К технико-экономическим последствиям увеличения средней толщины теплоизоляции ИВ относятся:

- А. Рост капитальных вложений в создание ИВ за счет стоимости дополнительного объема материалов и трудозатрат. Характер роста капитальных вложений находится в прямой линейной зависимости от средней толщины теплоизоляции.
- В. Уменьшение нормы загрузки ИВ вследствие уменьшения погрузочного объема грузового помещения; увеличение транспортной составляющей на единицу перевозимого груза. Уменьшение нормы загрузки ИВ при перевозке тарных грузов, укладываемых плотным штабелем, будет находиться в обратной линейной зависимости от средней толщины теплоизоляции.

С. Увеличение расчетного предельного срока перевозки груза вследствие уменьшения коэффициента K кузова ИВ; возможное снижение транспортной составляющей от уменьшения удельной величины железнодорожного тарифа и уменьшения числа вспомогательных грузовых операций. Увеличение расчетного предельного срока перевозки груза находится в нелинейной зависимости от толщины теплоизоляции, поскольку основное влияние на величину предельного срока перевозки груза оказывает группа противоборствующих технических параметров, которые в свою очередь зависят от значения средней толщины теплоизоляции: коэффициент K и средняя теплопередающая поверхность кузова – с одной стороны, норма загрузки грузом – с другой. Таким образом увеличение толщины теплоизоляции целесообразно с целью увеличения предельного срока перевозки груза лишь до определенного предела, а именно пока положительный эффект от первых двух факторов не будет перевешен отрицательным эффектом от уменьшения нормы загрузки вагона и, как следствие, уменьшения величины тепловой энергии, аккумулированной грузом до начала процесса перевозки.

Для возможности математической постановки задачи поиска рационального значения средней толщины теплоизоляции с использованием показателей сравнительной эффективности капитальных вложений необходимы следующие исходные данные:

1. Планируемый среднегодовой объем отправки груза, устанавливаемый для каждого i -го направления перевозки и учитывающий прогнозируемое изменение объема производства груза во времени в связи с вводом, ликвидацией или изменением производственных мощностей:

Пункт зарождения грузопотока	Пункт погашения грузопотока	Среднегодовой ¹ объем транспортировки груза (нетто) с распределением по периодам года ² , т			Нормативный срок доставки груза железнодорожным транспортом ³ , сут
		летний	переходный	зимний	
A_1	B_1	$Q_1^{\text{л}}$	$Q_1^{\text{п}}$	$Q_1^{\text{з}}$	τ_1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_i	B_i	$Q_i^{\text{л}}$	$Q_i^{\text{п}}$	$Q_i^{\text{з}}$	τ_i
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_j	B_j	$Q_j^{\text{л}}$	$Q_j^{\text{п}}$	$Q_j^{\text{з}}$	τ_j

Примечания:

- i. Среднегодовой объем перевозки груза целесообразно определять для горизонта прогноза, T , равного периоду с момента ввода в эксплуатацию до момента капитального ремонта ИВ, при котором происходит частичная или полная замена теплоизолированных ограждений кузова.
- ii. Объемы перевозок груза по периодам года устанавливаются для каждого направления транспортировки исходя из установленных для него границ летнего, переходного и зимнего периодов года. При отсутствии данных о распределении среднегодового потока груза по месяцам года, объемы перевозок груза по периодам года определяются из выражения:

$$Q_i^n = Q_i \cdot \frac{\tau_1^n}{365,25} \cdot \beta_i^n, \quad Q_i^p = Q_i \cdot \frac{\tau_1^p}{365,25} \cdot \beta_i^p, \quad Q_i^z = Q_i \cdot \frac{\tau_1^z}{365,25} \cdot \beta_i^z,$$

где Q_i - среднегодовой объем перевозок груза на направлении $A_i B_i$, т;
 $\tau_1^n, \tau_1^p, \tau_1^z$ - продолжительность, соответственно, летнего, переходного и зимнего периодов года на i -м направлении (принимается согласно приложению 6 к Правилам перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов, утвержденных приказом МПС России от 18 июня 2003 г. № 37 (зарегистрирован в Минюсте России 19 июня 2003 г. № 4762), сут;
 365,25 - количество дней в году;
 $\beta_i^n, \beta_i^p, \beta_i^z$ - коэффициент, учитывающий неравномерность перевозок груза, соответственно, в летний, переходный и зимний периоды года.

- iii. Нормативный срок доставки определяется для i -го направления перевозки согласно Правил исчисления сроков доставки грузов железнодорожным транспортом, утвержденных приказом МПС России от 18 июня 2003 г. № 27 (зарегистрирован в Минюсте России 23 июня 2003 г. № 4816).

2. Структура и грузовая характеристика исходного парка УКВ компании:

Наружные размеры кузова вагона, мм				Размеры грузового помещения, мм				Размеры дверного проема в свету, мм		Максимальная грузоподъемность вагона, кг	Доля вагонов в парке компании
длина	ширина	макс. высота Гн	высота по бок. стенке	длина	ширина	макс. высота Гн	высота по бок. стенке	ширина	высота		
L_1^n	B_1^n	H_1^n	h_1^n	L_1^p	B_1^p	H_1^p	h_1^p	$b_1^{пв}$	$h_1^{пв}$	G_1^{max}	R_1^n
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
L_1^p	B_1^p	H_1^p	h_1^p	L_1^z	B_1^z	H_1^z	h_1^z	$b_1^{пв}$	$h_1^{пв}$	G_1^{max}	R_1^p
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
L_1^z	B_1^z	H_1^z	h_1^z	L_1^s	B_1^s	H_1^s	h_1^s	$b_1^{пв}$	$h_1^{пв}$	G_1^{max}	R_1^z

На основании этих данных определяются параметры расчетного базового УКВ:

$$\bar{L}^n = \sum_j L_j^n \cdot R_j^n, \quad \bar{B}^n = \sum_j B_j^n \cdot R_j^n, \quad \bar{H}^n = \sum_j H_j^n \cdot R_j^n, \quad \bar{h}^n = \sum_j h_j^n \cdot R_j^n;$$

$$\bar{L}^p = \sum_j L_j^p \cdot R_j^p, \quad \bar{B}^p = \sum_j B_j^p \cdot R_j^p, \quad \bar{H}^p = \sum_j H_j^p \cdot R_j^p, \quad \bar{h}^p = \sum_j h_j^p \cdot R_j^p;$$

$$\bar{b}_0^{пв} = \sum_j b_j^{пв} \cdot R_j^p, \quad \bar{h}_0^{пв} = \sum_j h_j^{пв} \cdot R_j^p;$$

$$\bar{G}_0^{max} = \sum_j G_j^{max} \cdot R_j^p.$$

3. Прогнозируемая структура производства груза по видам тары и упаковки:

Габаритные размеры одного грузового места, мм			Масса одного грузового места, кг		Масса элементов тары и упаковки груза, кг	Максимальная высота укладки штабеля плотным способом, м	Доля варианта в общем объеме компании
длина	ширина	высота	брутто	нетто			
L_1^r	B_1^r	H_1^r	G_1^b	G_1^n	$\{G_{1,1}^r \dots G_{1,l_1}^r \dots G_{1,L_1}^r\}$	H_1^{max}	R_1^r
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
L_k^r	B_k^r	H_k^r	G_k^b	G_k^n	$\{G_{k,1}^r \dots G_{k,l_k}^r \dots G_{k,L_k}^r\}$	H_k^{max}	R_k^r
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
L_K^r	B_K^r	H_K^r	G_K^b	G_K^n	$\{G_{K,1}^r \dots G_{K,l_K}^r \dots G_{K,L_K}^r\}$	H_K^{max}	R_K^r

На основании этих данных определяются параметры расчетного грузового места:

$$\bar{L}^r = \sum_k L_k^r \cdot R_k^r, \quad \bar{B}^r = \sum_k B_k^r \cdot R_k^r, \quad \bar{H}^r = \sum_k H_k^r \cdot R_k^r;$$

$$\bar{G}^b = \sum_k G_k^b \cdot R_k^r, \quad \bar{G}^n = \sum_k G_k^n \cdot R_k^r,$$

откуда может быть выведен коэффициент увеличения массы тарного и упакованного груза:

$$k^r = \frac{\bar{G}^b}{\bar{G}^n},$$

$$\bar{H}^{max} = \sum_k H_k^{max} \cdot R_k^r.$$

Используя полученные данные определяется теплоемкость расчетного груза с учетом тары и упаковки:

$$\bar{c}^r = \sum_k \frac{G_k^n \cdot c^n + \sum_l G_{k,l_k}^r \cdot c_{k,l_k}^r}{G_k^b} \cdot R_k^r,$$

где c^n – теплоемкость продукта, кДж/(кг·К);

c_{k,l_k}^r – теплоемкость l_k -го элемента k -го варианта тары и упаковки груза, кДж/(кг·К).

4. Промежуточные пункты для организации ступенчатой доставки груза:

$$\begin{matrix} Z_1 \\ \vdots \\ Z_m \\ \vdots \\ Z_M \end{matrix}$$

Данные пункты организуются для возможности осуществления ломаной цепи доставки, когда срок доставки на направлении $A_i B_i$, τ_i^n , превышает предельный срок перевозки на этом же направлении. В этом случае маршрут доставки может выглядеть как

$A_i\{Z_2\}B_i$ с обязательной выгрузкой груза из вагонов в пунктах $\{Z_2\}$ и проведением комплекса мер по его дополнительной термической подготовке для возможности транспортировки на следующем плече доставки в направлении B_i . Принимается также, что количество промежуточных пунктов Z_m не ограничено.

С использованием приведенных исходных данных определяются необходимые технико-экономические параметры с целью определения рациональной средней толщины теплоизоляции в теплоизолированных ограждениях кузова ИВ.

Поскольку сравниваемые варианты средней толщины теплоизоляции отличаются друг от друга размерами потребных капитальных вложений и текущими затратами, выраженными в суммарных расходах на перевозку запланированного годового грузопотока, рациональная средняя толщина теплоизоляции выбирается по минимуму приведенных и зависящих от толщины теплоизоляции затрат:

$$d^p = \min_n (Z'_n{}^{\text{кап}} + Z'_n{}^{\text{эксп}}), \quad (14)$$

где $Z'_n{}^{\text{кап}}$ – зависящие от толщины теплоизоляции приведенные капитальные вложения на создание ИВ на базе УКВ при n -й толщине теплоизоляции, руб/год;

$Z'_n{}^{\text{эксп}}$ – зависящие от толщины теплоизоляции удельные эксплуатационные расходы, руб/год.

Приведенные удельные затраты на создание ИВ на базе УКВ определяются по формуле:

$$Z'_n{}^{\text{кап}} = \frac{K'_n}{T}, \quad (15)$$

где K'_n – изменяющиеся в зависимости от толщины теплоизоляции капитальные вложения в создание ИВ на базе УКВ при n -й толщине теплоизоляции, руб;

T – горизонт прогноза (расчетный срок окупаемости капитальных вложений), лет.

$$K'_n = \sum_q C_{n,q}^{\text{мат}} \cdot P'_{n,q}{}^{\text{мат}} + \sum_r C_{n,r}^{\text{ч-час}} \cdot M_{n,r}^{\text{ч-час}}, \quad (16)$$

где $C_{n,q}^{\text{мат}}$ – стоимость q -го материала при создании ИВ с n -й толщиной теплоизоляции, руб/кг, руб/м² или руб/м³;

$C_{n,r}^{\text{ч-час}}$ – стоимость часа рабочего времени r -го специалиста, руб/час;

$P'_{n,q}{}^{\text{мат}}$ – потребность в q -м материале при создании ИВ с n -й толщиной теплоизоляции, кг, м² или м³;

$M_{n,r}^{\text{ч-час}}$ – трудозатраты r -го специалиста при создании теплоизоляции n -й толщины, час.

Расход материалов определяется путем построения для каждого варианта средней толщины теплоизоляции расчетной модели конструкции теплоизолированных ограждений кузова. Затраты рабочего времени определяются по нормативам производителя и планируемому объему работ.

Величина изменяющихся от толщины теплоизоляции удельных эксплуатационных расходов определяется суммарной величиной железнодорожного тарифа на перевозку годового грузопотока, $\sum Q_i$, а также дополнительными затратами на осуществление ступенчатой доставки груза при нехватке предельного срока перевозки:

$$Z_n^{\text{эксп}} = \frac{k^r}{G_n^r} \sum_i (D_{n,i}^1 \cdot Q_i^1 + D_{n,i}^2 \cdot Q_i^2 + D_{n,i}^3 \cdot Q_i^3), \quad (17)$$

где $D_{n,i}^1, D_{n,i}^2, D_{n,i}^3$ – суммарная стоимость доставки на i -м направлении расчетного груза в ИВ с n -й толщиной теплоизоляции, соответственно, в летний, переходный и зимний периоды года, руб/год.

G_n^r – расчетная норма загрузки расчетным грузом ИВ с n -й толщиной теплоизоляции, кг.

Норма загрузки вагона тарными грузами, имеющими форму параллелепипеда, определяется исходя из погрузочных размеров вагона ($F_n^{\text{погр}}, H^{\text{max}}$) и габаритных размеров грузового места ($\bar{L}^r, \bar{B}^r, \bar{H}^r$). Число грузовых мест, которое может быть уложено в вагоне по длине, ширине и высоте, определяется делением погрузочных размеров ИВ на размеры расчетного грузового мест. При этом рациональная укладка грузовых мест определяется с учетом разработанных схем размещения груза уплотненным способом (плотным штабелем). Общее количество ящиков и коробок, загружаемых в ИВ, определяется умножением количества грузовых мест, укладываемых по длине, ширине и высоте ИВ; при этом не должно иметь место превышение грузоподъемности ИВ, G_n^{max} .

Сравнительная стоимость доставки груза на i -м направлении (на i -ю дальность) в ИВ с n -й толщиной теплоизоляции определяется по следующим выражениям:

$$D_{n,i} = \Phi_i^{\text{ИВ}}, \text{ если } \tau_{n,i}^{\text{пред}} \geq \tau_i^{\text{д}} \quad (18.1)$$

$$D_{n,i} = \sum_z \Phi_z^{\text{ИВ}} + (z - 1) \cdot C^z, \text{ если } \tau_{n,i}^{\text{пред}} < \tau_i^{\text{д}} \text{ и } z \neq \emptyset \text{ и } (\tau_z^{\text{д}} \leq \tau_{n,i}^{\text{пред}}) \forall z \quad (18.2)$$

$$D_{n,i} = D_i^{\sim}, \text{ если } \tau_{n,i}^{\text{пред}} < \tau_i^{\text{д}} \text{ и } (z = \emptyset \text{ или } \tau_z^{\text{д}} > \tau_{n,i}^{\text{пред}}) \quad (18.3)$$

где Φ_i^{IB} – величина железнодорожного тарифа на перевозку груза в ИВ на i -м направлении, руб;
 Φ_z^{IB} – величина железнодорожного тарифа на перевозку груза в ИВ на z -м плече при ступенчатой доставке, руб;
 C^Z – средняя стоимость затрат на проведение дополнительной термической подготовки с грузом, оформления новой перевозки и осуществления необходимых погрузочно-разгрузочных работ на промежуточном пункте, руб;
 \tilde{D}_i – суммарная стоимость доставки груза на i -м направлении в изотермических перевозочных средствах других категорий железнодорожным транспортом или другими видами транспорта, руб;
 $\tau_{n,i}^{пред}$ – величина предельного срока перевозки груза на i -м направлении при n -й толщине теплоизоляции в рассматриваемый период года, сут.

Анализ сравнительной эффективности капитальных вложений целесообразно производить для определенного диапазона значений средней толщины теплоизоляции, ограниченного, с одной стороны, требованиями соответствия ИВ определенному классу по теплоизоляции (определяет максимальное значение коэффициента K), с другой стороны, техническими и технологическими ограничениями на создание теплоизоляции большой толщины.

По итогам расчетов сравнительной эффективности капитальных вложений в усиление теплоизоляционных качеств ИВ устанавливается рациональная средняя толщина теплоизоляции при выбранном варианте теплоизолированных ограждений кузова вагона, закладываемая при дальнейшей разработке конструкторской документации.

На основании тщательно разработанной математической модели настроить кучу зависимостей типа тех, что я привел в данной статье, не составило труда.

Далее встал вопрос какие стоимости принимать для технико-экономических расчетов? Я прекрасно понимал, что любую из стоимостей (кроме стоимостей материалов) в чистом виде не возьмёшь. Эти стоимости являются сложными, то есть включают в себя кучу более мелких стоимостей. И так надо двигаться вплоть до элементарных показателей, которые можно уже взять непосредственно.

Балтике было написано письмо-запрос с просьбой предоставить стоимости по тем элементарным кирпичикам, до которых я смог докопаться самостоятельно. В ответ мы получили предсказуемое письмо, в котором все финансово-экономические расчеты компания бралась произвести самостоятельно на основе нашей методики, аргументируя это решение тайной финансовой и операционной деятельности.

Не буду врать, не в курсе, что считали специалисты Балтики (хотя, учитывая квалификацию и здоровые амбиции того золотого состава менеджмента компании, допускаю, что считали реально и обоснованно). В итоге мы получили письмо, в котором компания на основании проделанных расчетов выбирала определенную толщину изоляции по выбранной технологии. Страница истории была закрыта, но чувство некоторой неудовлетворённости результатом не покидает меня до сих пор...

Заключение

Несмотря на интересную, как мне кажется, постановку задачи, довести ее до конца хоть в каком-то качестве удалось лишь однажды. Живой интерес со стороны других производителей (или операторов) к решению данной задачи я наблюдал очень редко, довести интерес до конкретных задач не довелось больше ни разу.

Чаще всего мышление современных отечественных конструкторов устроено таким образом, чтобы взять зарубежный образец техники и попытаться создать его более или менее удачную копию на частично отечественной элементной базе и экономя на всем, включая рабочую силу и науку. Доводы про разницу условий (от климатических до эксплуатационных) работают только как общие слова на совещаниях, но на практике попросту игнорируются... Что ж, будем надеяться, что подобные задачи когда-нибудь снова будут вызваны к жизни. Видимо, это будет уже совсем другая жизнь.

