



УДК 656.073:656.23:339.17

В.А. Вознесенский

E-mail: voznensensky@yandex.ru

Теоретические предпосылки организации рынка аренды вагонов

Статья продолжает начатое в [1, 2] обсуждение преодоления недостатков рынка аренды железнодорожных вагонов путём организации институтов «умного» рынка. Дан краткий обзор теоретических трудностей построения экономических механизмов на сложных рынках, к которым относится и рынок аренды вагонов.

Сформулирована линейная математическая модель рыночного управления вагонным парком, учитывающая:

- топологию сети железнодорожных терминалов и станций;
- различия вагонов как по типоразмерам и номенклатуре перевозимых грузов, так и по финансовым условиям их привлечения;
- детальные ограничения на курсирование вагонов различных групп по сети;
- ограничения погрузочно-разгрузочных мощностей терминалов.

На основании сравнения возникающей оптимизационной задачи с доступными аналогами даётся оценка порядка потребных вычислительных мощностей при организации рынка аренды вагонов.

Оператор подвижного состава, управление парком грузовых вагонов, линейное целочисленное программирование, обмен обязательствами, «умный» рынок

V.A. Voznesenskiy

Theoretical prerequisites for organisation of railcar leasing market

The article continues the discussion [1, 2] to overcome the shortcomings of the railcar leasing market by organization of institutions of a smart market.

There has been given a brief overview of theoretical difficulties concerning economic mechanisms design in complex markets to which the railcar leasing market refers. There has been formulated the linear mathematical model of the market of the car fleet management, taking into account:

- topology of the railway terminals and stations network;
- the differences in wagons both in size and nomenclature of goods transported as well as in financial conditions of their attraction;
- detailed restrictions on running of cars of various groups on the network;
- limitation of handling capacity of terminals.

On the basis of comparison of the emerging optimisation problem with available analogues there has been given estimation of computational power magnitude required for organisation of the railcar leasing market.

Operator of rolling stock, freight railcars fleet management, linear integer programming, obligations exchange, smart market

Введение

2017 год продолжил две разнонаправленные тенденции на железнодорожном транспорте. С одной стороны, продолжается рост погрузки и грузооборота, в первую очередь на экспортных направлениях, стимулируемый хорошей конъюнктурой на мировых рынках. С другой стороны, ухудшается доступность услуг железных дорог для малого и среднего бизнеса [3], что выражается в перетекании грузов последних на автомобильный транспорт, уменьшении количества активных потребителей услуг железных дорог [4] и сокращении номенклатуры перевозимых по ним грузов. В результате, система железнодорожного транспорта становится более уязвимой относительно колебаний цен на мировых рынках.

Сложилась парадоксальная ситуация, когда у каждой из трёх взаимодействующих сторон (малых грузовладельцев, перевозчика и вагонных операторов) имеются претензии к смежным участникам перевозочного процесса. Малые грузовладельцы обвиняют ОАО «РЖД» в игнорировании их интересов и требуют обеспечить их вагонами в нерыночном директивном порядке в пиковый сезон перевозок [5]. Служба движения ОАО «РЖД» ссылается на субоптимальное, с точки зрения организации движения, децентрализованное управление парком вагонов большого количества частных операторов [6]. Операторы указывают на слабую оснащённость терминалов малых грузовладельцев, приводящую к увеличению оборота вагонов [7].

Если ставить задачу дизайна организованного рынка аренды вагонов, снимающего указанные противоречия, то, исходя из кибернетического принципа Эшби о необходимом разнообразии [8], создаваемая модель рынка должна включать в себя, явно или неявно, все возникающие в этих противоречиях понятия. Как вариант, можно предъявить к модели следующие требования:

1. Разделять общесетевую парк вагонов не только по их технологическим свойствам, но и по принадлежности к независимым друг от друга операторам;

2. Учитывать посуточные ограничения терминалов по количеству

загружаемых и разгружаемых вагонов, в том числе в свете грядущего дефицита маневровых локомотивов;

3. Учитывать отдельные заявки грузовладельцев, различающиеся по размерам и временным свойствам, как источник неравномерности при организации перевозок;

4. Обеспечивать возможность обмена обязательствами между операторами для купирования негативных последствий децентрализации управления парком;

5. Учитывать индивидуалистическое поведение участников рынка.

Начнём с обсуждения пункта 5, после чего перейдём к модели, учитывающей остальные пункты.

Фундаментальные проблемы моделирования и организации рынка аренды вагонов

В статье [2] описываются две теоретические модели организации рынка аренды подвижного состава: конкурентная модель с возможностью обмена обязательствами между операторами и модель с централизованным оператором, имитирующим маркетинговое поведение конкурирующих операторов. Показывается, что обе модели при определённых условиях эквивалентны с точки зрения эффективности управления парком.

При этом, статья [2] не даёт ответа на два фундаментальных вопроса. Во-первых, остаётся открытым вопрос о маркетинговом поведении участников, то есть о моментах вывода вагонов и грузов на рынок аренды погрузочных ресурсов и об установлении ими критериев своего согласия на заключение контрактов этой аренды. Во-вторых, неясна вычислительная мощность, необходимая оптимизирующему участнику рынка для нахождения оптимального плана управления парком.

Первый вопрос можно отнести к теории экономических механизмов. В соответствии с теоремой Майерсона-Саттертуайта [9], невозможно организовать механизм двусторонних сделок купли-продажи однородного товара, одновременно обладающий следующими свойствами (далее – «свойствами рынка»):

1. участники действовали бы индивидуалистически рационально;

2. интересы участников не противоречили бы друг другу, в частности не было бы интереса скрывать информацию;

3. не требовались бы субсидии;

4. обеспечивалось бы максимальное суммарное благо для участников, то есть экономическая эффективность.

С увеличением количества независимых покупателей и продавцов однородного товара доля неэффективности может быть асимптотически уменьшена [10], однако рынок аренды вагонов нельзя, вообще говоря, считать рынком однородного товара: вагоны предоставляются в разные сроки на разных направлениях, а затраты оператора на оказание услуг предоставления погрузочных ресурсов сильно зависят от наличия обратных и попутных грузов.

Второе свойство требует пояснений. Отсутствие мотивации к открытию информации приводит к большому количеству обменов ценной информацией между договаривающимися сторонами и, в результате, большим транзакционным издержкам. Автоматизация этого обмена, судя по опыту роботизированной торговли через двойные встречные аукционы на фондовых биржах, выливается в привлечение передовой вычислительной техники и сложного узкоспециализированного программного обеспечения. Как мы увидим далее, организация транспортного рынка может потребовать беспрецедентных вычислительных мощностей из-за сложности многозвенных логистических цепочек как со стороны вагонных операторов, так и со стороны грузовладельцев.

Развитие теории экономических механизмов

Экономическая теория предоставляет обществу на выбор некоторые варианты механизмов с тремя выполняющимися свойствами рынка из четырёх. Например, механизм VCG [11] позволяет в большом классе случаев создать рынок, обеспечивающий выполнение 1, 2 и 4 свойства (см. выше), но требующий субсидий, что вряд ли подходит для рынка аренды вагонов.

Ряд недавних публикаций, наиболее выдающейся из которого представляется [12], содержит описание механизмов, обеспечиваю-

щих выполнение 1, 2 и 3 свойства и гарантирующих определённые доли от максимальной эффективности. К сожалению, речь в этих статьях идёт о рынках, в которых либо участники обладают единственными неделимыми и, подчас, одинаковыми единицами товара, либо функция ценности продаваемых товаров или услуг для участника такой модели должна подчиняться слишком сильным требованиям.

В статье [13] описывается устройство комбинаторного аукциона закупки единственным покупателем с ограниченным бюджетом комбинаций товаров или услуг, принадлежащих т.н. «матриду» – математической абстракции, в терминах которой может быть описан, в том числе, и набор вариантов плана обеспечения набора грузоперевозок вагонами разных владельцев.

Автору не удалось найти в научных публикациях описание удовлетворительного экономического механизма многосторонней купли-продажи предметов, близких по свойствам обязательствам предоставления грузозачных ресурсов, при всей кажущейся близости к этой цели передовой научной мысли.

Неопределённость маркетингового поведения участников рынка

Таким образом, при постановке задачи имитационного моделирования организованного рынка аренды вагонов вопрос оптимального маркетингового поведения участников остаётся открытым. Исследователю остаётся исходить из ложности указанного выше второго свойства, то есть считать, что каждый участник торгов не предоставляет правдивую функцию своей выгоды оптимизирующей стороне, то есть, либо организатору торгов, либо рядовому участнику, ищущему оптимальный план управления вагонами.

Привычное при обсуждении в профильных СМИ понятие ставки предоставления вагонов в аренду, вычисляемой как среднее по ряду направлений на сети, не может служить единым ориентиром при определении выгоды или невыгоды сделки [14], так как спрос и предложение вагонов в аренду могут зависеть от технологичности терминальных операций,

направления и регулярности перевозки, требующей вагонов, а также оперативного наличия порожних вагонов в конкретные дни погрузки.

Норма прибыльности на всей сети тоже не является адекватным показателем, так как рынку аренды вагонов свойственна неопределённость: завышая эту норму на каком-то направлении, вагоновладелец может упустить наиболее выгодный груз, занижая – продешировать.

Функция выплат участнику как аналог биржевой котировки

Итак, для каждого участника может быть известно, лишь, правило, отделяющее исходы, на которые тот согласен, от исходов, на которые тот не согласен. А именно: в распоряжении торговой площадки и других участников будет предоставленная участником функция минимальной выплачиваемой ему премии (или максимального размера его собственных выплат со знаком минус), при которой (которого) этот участник согласен участвовать в предлагаемых изменениях старого плана управления вагонами. Назовём эту функцию функцией выплат (участнику).

Значение функции выплат зависит от перемены использования вагонов участника и от добавления или отмены перевозки грузов участника в новом плане управления вагонами. Оно равно нулю для тех планов управления, где использование вагонов и перевозка грузов участника не меняются.

Для организации полноценного рынка, у участников должна быть возможность постоянно пересматривать свои функции выплат (по аналогии с постоянным изменением цен покупки и продажи в двойном встречном аукционе на обычных фондовых или товарных биржах). В силу неопределённости ценовых ожиданий участников, этот пересмотр будет происходить непрерывно: каждое новое изменение будет порождать следующую волну изменений со стороны как грузовладельцев, так и операторов. В силу сложности функций выплат, подобное взаимодействие потребует значительной вычислительной работы как на стороне участников, так и на стороне организатора торгов.

Передача функции выплат участнику в торговую площадку посредством информационных систем требует стандартизации вида этой функции: должна передаваться не привычная для человека формула, а набор коэффициентов, входящих в формулу стандартного вида. Формула эта должна быть удобной как для оптимизации плана управления вагонами, проводимой торговой площадкой или каким-то участником, так и для быстрой проверки корректности транзакций площадкой и регулятором.

Оптимизационная задача

Мы подошли ко второму фундаментальному вопросу: вычислительной достижимости нахождения оптимального плана обмена обязательствами вагонных операторов по предоставлению грузозачных ресурсов. Вид целевой функции оптимизации зависит от стороны экономического механизма, осуществляющего эту оптимизацию.

Если оптимизацию осуществляет торговая площадка, а её интерес состоит в доходе от осуществления торговли, то минимизируемая целевая функция равна сумме функций выплат участникам: чем меньше выплаты участникам и чем больше выплаты самих участников, тем больше доход площадки.

Если оптимизацию осуществляет рядовой участник торгов, то вместо собственной функции выплат ему разумнее учитывать изменения его реальных расходов и доходов, порождаемых сменой плана управления вагонами. Таким образом, целевая минимизируемая функция участника равна разнице его доходов и расходов по новому искомому плану. Расходы эти включают в себя и сумму функций выплат другим участникам. Найденный оптимальный план передаётся площадке для проверки на корректность, в том числе неотрицательность денежного баланса, и регистрации новых сделок по обмену обязательствами.

Первый вариант с оптимизирующей торговой площадкой хорош тем, что участникам не придётся организовывать вычислительный процесс поиска оптимального плана управления вагонами самостоятельно. Это поставило бы их в равные условия. Однако, как мы увидим далее, готовой вычислительной



ной технологии, способной в приемлемые сроки решать такую задачу для реального рынка на всей отечественной сети железных дорог, не существует.

Такую технологию ещё предстоит найти, что делает более жизнеспособным второй вариант организации рынка с участниками, конкурирующими за точность и скорость решения оптимизационной задачи. Более того, площадка, занимающаяся только проверкой предлагаемых планов на корректность и регистрацией возникающих при этом сделок, может исполнять порядка десятка тысяч транзакций в секунду, что открывает возможности для её интеграции с товарными биржами, в том числе продающими товары за разные валюты.

Оценим вычислительную достижимость решения оптимизационной задачи улучшения плана управления вагонами разных владельцев на примере линейной выпуклой модели цен, издержек и прибылей.

Основные понятия

Описываемая линейная модель основана на четырёх взаимосвязанных понятиях: терминал, физический груз, коммерческий груз и группа вагонов.

Терминал – связанные путями с определённой железнодорожной станцией средства погрузки и разгрузки вагонов ограниченной суточной производительности.

Физический груз (далее – просто «груз») – однородная по плотности и потребительским свойствам ограниченная физическая масса, принадлежащая грузладельцу к перевозке от одного терминала к другому в определённые сроки и в определённых группах вагонов.

Коммерческий груз – физический груз или его часть, предлагаемая к перевозке или перевозимая на единых финансовых условиях. Грузовладелец сам назначает цену перевозки единицы массы груза, которую готов заплатить, а также удельную неустойку за невыполнение обязательств. Так как модель линейна, то эти цена и неустойка не зависят от общего объёма заключённых обязательств. В момент взятия оператором обязательства по предоставлению погрузочных ресурсов под согласованную пере-

возчиком часть коммерческого груза этот груз распадается на два коммерческих груза: груз, всё ещё предлагаемый к перевозке по изначальной цене, и груз, фигурирующий в формуле доходов и издержек оператора по цене неустойки за непредоставление вагонов.

Группа вагонов – множество вагонов, имеющих одинаковые грузоподъёмность, объём кузова, перечень допускаемых к перевозке грузов, разрешённые терминалы и дни погрузки и выгрузки, а также финансовые условия привлечения под перевозку.

Вспомогательные понятия

Кроме четырёх указанных основных понятий, используются следующие три вспомогательных.

Пункт размещения вагонов – станция или терминал, с которого отправляются или на который прибывают порожние или гружёные вагоны в ходе отдельной перевозки.

Начальный пункт размещения вагонов – пункт, на котором извне модели в определённый день появляются (становятся доступными) вагоны определённой группы в определённом количестве.

Конечный пункт размещения вагонов – один из пунктов, в которых в определённые дни должны закончить своё планируемое перемещение и быть выведены за пределы модели вагоны определённой группы. Вагонный оператор задаёт величину штрафа или премии, которую получает от оператора оптимизирующая сторона за изменение конечных пунктов и дня вывода вагона из модели в результате проведённой оптимизации.

Перевозка порожних и гружёных вагонов между пунктами (терминалами) погрузки и выгрузки занимает заданное количество дней. Цена перевозки одного вагона в описываемой линейной модели не зависит от количества перевозимых вагонов.

Неизвестные величины

Каждая неизвестная величина несёт в своём обозначении несколько индексов, содержащих русские буквы:

- ❖ d – день события (погрузки, разгрузки, окончания ожидания, отправки из пункта);
- ❖ v – номер группы вагонов;

❖ z – идентификатор физического груза, в случае гружёных вагонов;

❖ $ч$ – идентификатор коммерческого груза – части физического груза;

❖ c – пункт отстоя порожних вагонов перед погрузкой или вывозом за пределы модели, пункт погрузки или разгрузки вагонов в формулах линейных ограничений модели для конкретного пункта;

❖ $н, к$ – начальный и конечный пункты перемещения порожних вагонов.

Неизвестные величины оптимизационной модели можно разделить на следующие категории:

❖ Целочисленное количество порожних вагонов определённой группы v :

➤ $o_{двнк}$ – отправляемых с определённого пункта в определённый день и прибывающих на определённый пункт через нормативное количество дней;

➤ $r_{двс}$ – стоящих на путях определённого пункта между определённым днём и предыдущим днём планирования, в т.ч. в ожидании погрузки;

➤ $q_{двс}$ – исчезнувших из модели в пункте c по окончании суток d .

❖ Целочисленное количество вагонов определённой группы, гружёных определённым грузом z :

➤ $v_{двz}$ – гружёных на начальном терминале и прибывающих на конечный терминал через нормативное количество дней;

➤ $w_{двz}$ – стоящих на путях конечного пункта между определённым днём и предыдущим днём планирования;

➤ $u_{двz}$ – выгруженных в данный день на терминале, соответствующем грузу.

❖ $m_ч$ – масса коммерческого груза $ч$, запланированная к перевозке.

Из определений следует, что неизвестные величины неотрицательны.

Свойства грузов, вагонных групп и пунктов

Для формулирования ограничений, накладываемых моделью на неизвестные величины, нам понадобятся следующие обозначения свойств модельных сущностей:

❖ H_z, K_z – терминалы погрузки и разгрузки груза z ;



❖ $D_{нк}$ – нормативные сроки доставки порожнего вагона от терминала n до терминала k ;

❖ $D_z \equiv D_{H_2K_2}$ – нормативные сроки доставки груженого вагона от терминала погрузки до терминала выгрузки груза z ;

❖ $M_{\sigma z}$ – техническая норма загрузки вагона группы σ грузом z ;

❖ $M_{\sigma \chi}$ – масса коммерческого груза χ , предъявленного к перевозке;

❖ Γ_{χ} – физический груз коммерческого груза χ ;

❖ $M_z \equiv \sum_{\chi: \Gamma_{\chi}=z} M_{\chi}$ – масса физического груза z , предъявленного к перевозке;

❖ $P_{\sigma c \delta}$ – количество порожних вагонов группы σ , возникших в модели в пункте c в начале суток δ ;

❖ $m_{\sigma c}$ – максимальное количество вагонов, которые могут быть загружены на терминале c в день δ ;

❖ $n_{\sigma c}$ – максимальное количество вагонов, которые могут быть разгружены на терминале c в день δ .

Линейные ограничения

Неизвестные величины должны удовлетворять следующим четырём видам требований.

Во-первых, суммарное количество порожних вагонов определённой группы σ , стоявших в пункте c на начало определённых суток δ , разгруженных в эти сутки и пришедших в пункт в эти сутки, должно равняться суммарному количеству вагонов, погруженных в эти сутки, ушедших из пункта и оставшихся стоять порожними в пункте по истечению этих суток. В случае начального пункта размещения вагонов, вагоны приходят не только из других пунктов, но и извне модели в заданном для каждого дня и группы количестве. В случае конечного пункта размещения вагонов, вагоны выводятся за пределы модели в ограниченном для каждого дня и группы количестве. Данное требование можно назвать «законом сохранения» или «балансом» порожних вагонов.

$$P_{\sigma c \delta} + r_{\sigma c \delta} + \sum_n O_{(\delta-D_{нк})\sigma c} + \sum_{z: K_2=c} u_{\sigma z \delta} = q_{\sigma c \delta} + r_{(\delta+1)\sigma c} + \sum_k O_{\sigma c k} + \sum_{z: H_2=c} v_{\sigma z \delta}$$

Во-вторых, аналогичный баланс можно записать и для вагонов под грузом z .

$$w_{\sigma z \delta} + v_{(\delta-D_z)\sigma z} = w_{(\delta+1)\sigma z} + u_{\sigma z \delta}$$

В-третьих, количество вагонов всех групп, погруженных (разгру-

женных) в определённый день на определённом терминале, не должно превышать заданную для данного терминала и данного дня производительность погрузки (разгрузки).

$$\sum_{\sigma} \sum_{z: H_2=c} v_{\sigma z \delta} \leq m_{\sigma c}$$

$$\sum_{\sigma} \sum_{z: K_2=c} u_{\sigma z \delta} \leq n_{\sigma c}$$

В-четвёртых, суммарная по дням и группам вагонов масса планируемого к перевозке коммерческого груза χ не может превышать общую массу этого предъявленного к перевозке груза. Масса физического груза z , запланированного к перевозке, не может превышать суммарную провозную способность вагонов, гружёных данным грузом, с учётом количества вагонных рейсов каждой группы вагонов.

$$M_{\chi} \leq M_{\chi}$$

$$\sum_{\chi: \Gamma(\chi)=z} M_{\chi} \leq \sum_{\sigma} \sum_{\delta} M_{\sigma z} v_{\sigma z \delta}$$

Как видно, требования всех четырёх групп линейны относительно неизвестных величин модели.

Целевая функция оптимизационной задачи

Как было отмечено ранее, целевая функция оптимизационной задачи является: либо полностью суммой функций выплат участникам, если задачу решает торговая площадка; либо, если задачу решает участник, разницей его доходов и издержек с учётом суммы функций выплат прочим участникам.

В линейной модели издержки и доходы участников пропорциональны перемещениям и отстоям их вагонов, выраженных в штуках, и грузов – в центнерах. Коэффициенты при массах коммерческих грузов, вагоны под погрузку которых законтрактованы, равны удельным неустойкам для этих грузов; при массах не законтрактованных грузов – удельным стоимостям перевозки, заявленным грузовладельцами.

Более реалистичная модель описывает издержки кусочно-линейными функциями, имеющими разрыв при переходе от нулевого количества к ненулевому и от одной строчки в таблице [15, раздел 2, приложение 4, таблица 5] к другой. Переход от целочисленной линейной к целочисленной кусочно-линейной модели осуществляется путём введения дополнительных

переменных, количество которых пропорционально количеству разрывов функций издержек.

Функция платы за занятие вагонами инфраструктуры, нулевая в первые три дня и растущая далее линейно, может быть смоделирована путём введения в функцию издержек дополнительной линейной переменной на каждую комбинацию дня, пункта и группы вагонов, а также первого, второго или третьего дня неоплачиваемого отстоя.

Функция платежей участнику торгов должна включать его вознаграждение за участие в обмене обязательствами. Это возможно путём корректировки участником коэффициентов в линейной функции платежей, входящей в описанную выше функцию издержек в виде слагаемого.

Таким образом, целевая функция оптимизационной модели может описываться линейной формулой, коэффициенты которой должны задаваться участниками торгов.

Проблема размерности задачи оптимизации всего рынка аренды вагонов

Можно ли находить решения поставленной выше оптимизационной задачи на существующих программно-аппаратных комплексах в разумные сроки? Оценим порядок величин рынка аренды вагонов на сети ОАО «РЖД», и подсчитаем количественный порядок (уровень) ограничений, неизвестных величин и ненулевых коэффициентов в ограничениях, которые необходимо включать (учитывать) в постановку задачи оптимизации.

Порядок количества вагонных операторов 10^2 [16], возьмём порядок групп вагонов у оператора 10, таким образом порядок групп вагонов 10^3 . Количество вводимых в систему ЭТРАН заявок составляет порядка 10^5 в месяц, примем это число за порядок количества физических грузов. Порядок числа грузовых терминалов не более 10^4 . Дней планирования, – 10^2 .

Наиболее массовыми будут неизвестные величины количеств перемещающихся между терминалами порожних вагонов $O_{\delta nk}$ и количеств гружёных вагонов на разных этапах работы с ними $v_{\sigma z \delta}$, $w_{\sigma z \delta}$ и $u_{\sigma z \delta}$. Индексы при $O_{\delta nk}$ порождают два перебора терминалов (начального и конечного), перебор дней и



перебор групп вагонов, итого порядка 10^{13} неизвестных. Индексы при количествах гружёных вагонов порождают переборы дней, групп вагонов и грузов, итого порядка 10^{10} неизвестных.

Порядок ограничений баланса порожних вагонов порождается перечислением дней, групп вагонов и терминалов, итого порядка 10^9 ограничений. Каждое такое ограничение содержит перечисления терминалов при разных слагаемых, итого порядка 10^{13} коэффициентов.

Количество ограничений баланса гружёных вагонов порождается перечислением дней, групп вагонов и грузов, всего порядка 10^{10} ограничений. Каждое такое ограничение содержит всего 4 слагаемых.

Итого получаем порядка 10^{13} неизвестных, 10^{10} ограничений и 10^{13} коэффициентов в ограничениях. Задачи целочисленного программирования в перечне MIPLIB2010 [17], решаемые коммерческими кодами не более чем за час, имеют не более 10^6 неизвестных и ограничений и не более чем 10^7 коэффициентов в ограничениях. Таким образом, задача создания оптимизирующего института на организованном рынке аренды вагонов для всех заявок на всей сети отечественных железных дорог представляется недостижимой при текущем уровне развития вычислительных технологий.

Пути уменьшения размерности и вычислительного времени оптимизации

Как преодолеть возникающую проблему размерности и снизить количество неизвестных? Можно ограничиться организацией рынка аренды вагонов определённого рода. Для примера возьмём цистерны для перевозки светлых нефтепродуктов по железной дороге.

Большая часть таких перевозок по РФ осуществляется с терминалов заводов нефтеперерабатывающих компаний, одновременно являющихся контролёрами поставки на бирже АО «СПбМТСБ». Количество станций – базисов с контролёром поставки нефтепродуктов на АО «СПбМТСБ» составляет около 80 [18], именно на этих станциях ежедневно осуществляется боль-

шая часть сетевой погрузки.

Общее количество нефтебаз в РФ – около 1200 [19]. Таким образом, производство двух переборов терминалов составляет порядка 10^5 пар терминалов выгрузки-погрузки.

Перечень цистерн для перевозок светлых нефтепродуктов с учетом их различной грузоподъёмности и объёмов котлов включает порядка 10 типоразмеров. Количество основных участников рынка, оперирующих такими вагонами – несколько десятков, при этом почти каждый из них не оперирует всем типоразмерным рядом. Итого, – 10^2 групп вагонов.

Умножим получившиеся 10^7 на 10^2 дней планирования и получим порядка 10^9 неизвестных $o_{\text{двнк}}$. Это число всё равно слишком велико для расчётов с использованием существующего оптимизирующего программного обеспечения в разумные сроки, однако есть ряд путей для уменьшения этого времени:

1. Использование методов уменьшения размерности, например метода генерации колонок, когда в начале оптимизации рассматриваются укрупнённые модельные сущности, например территориально близкие группы станций вместо отдельных терминалов или недели вместо дней;

2. Параллельный запуск расчёта логических ветвей на узлах кластера вычислителей в случае невыпуклых задач;

3. В случае оптимизации барьерным методом, например двойственным методом внутренней точки, – поиск матрицы предуславливателя для матрицы конкретной оптимизационной задачи, вычислительно стабилизирующего и минимизирующего время решения системы уравнений на каждом шаге по Ньютону;

4. В случае барьерного метода, – использование параллельных вычислителей, например графических процессоров, для выполнения однообразных операций над массивами неизвестных, принадлежащих разным группам вагонов;

5. Конкурирующему участнику не обязательно находить лучший план, так как для получения прибыли достаточно найти и послать организатору торгов план управления чуть лучше, чем он был до этого, в частности, – произведя оптимиза-

цию в ограниченных географических или временных рамках.

Выводы

В статье сформулированы две фундаментальные проблемы моделирования организованного децентрализованного рынка аренды вагонов на сети железных дорог: описания поведения участников этого рынка и вычислительной сложности оптимизации плана управления вагонным парком, проводимой либо торговой площадкой, либо условным участником торгов, конкурирующим с прочими участниками, и при этом оптимизирующим использование собственных вагонов и транспортировку собственных грузов.

Автор, изучив ряд недавних публикаций по теории экономических механизмов, не нашёл решения первой проблемы, соответствующего сложному устройству рынка аренды вагонов.

В отношении второй проблемы показано, что современный уровень развития вычислительных средств не позволяет оптимизировать план управления всем вагонным парком всех операторов для всех заявок на всей сети отечественных железных дорог. Тем не менее, существует ряд путей уменьшения вычислительной сложности и ускорения вычислений, дающий надежду на решение оптимизационной задачи и организации рынков аренды вагонов в узкоспециализированных рыночных нишах.

Автор приглашает читателей к комментированию предложенной модели на странице статьи на сайте <https://natrans.ru>.

Литература

1. В.А. Вознесенский. К развитию электронной торговой площадки «Грузовые перевозки» // Бюллетень Транспортной Информации. № 5 (263), 2017, стр. 18-22.
2. В.А. Вознесенский. О децентрализации управления вагонными парками и порожнем пробеге вагонов // Бюллетень Транспортной Информации. № 12 (270), 2017, стр. 7-12.
3. ФАС: Суд признал РЖД нарушителем антимонопольного законодательства // Vedomosti.ru. 12 марта 2014.
4. А. Солнцев. Отток с железной дороги небольших грузовладель-



цев // ИА РЖД-Партнёр.ру. 13 марта 2014.

5. А. Веденева. Малый бизнес не хочет грузить на бирже // Газета «Коммерсантъ» № 25 от 12.02.2018, стр. 9.

6. О. Сергеевко. Одна страна – одна дорога. Интервью П.А. Иванова // Газета «Гудок» № 91 от 05.06.2017, стр. 3.

7. Н. Скорлыгина, К. Куркин. Штрафы отгрузят вагонами // Газета «Коммерсантъ» № 210 от 13.11.2017, стр. 1.

8. У.Р. Эшби. Введение в кибернетику // «Иностранная литература», Москва, 1959.

9. R. B. Myerson, M. A. Satterthwaite. Efficient Mechanisms for Bilateral Trading // Journal of Economic Theory. 1983, № 29 (2): 265–281

10. A. Rustichini, M. A. Satterthwaite, S. R. Williams. Convergence to Efficiency in a Simple Market with Incomplete Information // Econometrica. Vol. 62(5), pp. 1041-1063, September 1994.

11. T. Groves. Incentives in Teams // Econometrica. Vol. 41 (4), pp. 617–631, 1973.

12. R. Colini-Baldeschi, P. Goldberg, B. de Keijzer, et.al. Approximately Efficient Two-Sided Combinatorial Auctions // URL: <https://arxiv.org/abs/1611.05342> (дата обращения 17.08.2018).

13. S. Leonardi, G. Monaco, P. Sankowski, Q. Zhang. Budget Feasible Mechanisms on Matroids // URL: <https://arxiv.org/abs/1611.05342> (дата обращения 17.08.2018).

14. А. Ретюнин. Новый импульс для железнодорожной реформы. Интервью А. Н. Голомолзина // Журнал «РЖД-Партнёр». Выпуск № 11-12 (375-376) июнь 2018.

15. Постановление ФЭК РФ от 17 июня 2003 г. N 47-т/5 «Об утверждении Прейскуранта N 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами»

(Тарифное руководство N 1, части 1 и 2)» (с изменениями и дополнениями) // URL: <http://base.garant.ru/12131790/> (дата обращения 17.08.2018)

16. М. Ермоленко. Большая роль для малых операторов // Журнал «РЖД-Партнер». Выпуск № 11–12 (327-328) июнь 2016.

17. MIPLIB – the Mixed Integer Programming LIBrary // URL: <http://miplib.zib.de/> (дата обращения 01.07.2018).

18. Общая (унифицированная) спецификация биржевого товара по секции «Нефтепродукты» АО «СПбМТСБ» // URL: <http://spimex.com/upload/iblock/5fe/5fe5e947fcfсс8a5f625156bdc04ee9f.pdf> (дата обращения 17.08.2018).

19. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела: Учебник для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – Уфа.: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2005 – 528 с.: ил. – с. 358-360.

ИНФОРМАЦИЯ

«Дорогобуж» осваивает новую схему погрузки минеральных удобрений

ПАО «Дорогобуж» (входит в Группу «Акрон») впервые в России разработало и внедрило схему погрузки в полувагоны мягких контейнеров (МКР) вместимостью 540 кг. Ноу-хау позволило увеличить перевозку готовой продукции в каждом вагоне на 2-4 тонны, до максимально допустимой грузоподъемности.

Разработанные предприятием новые технологические карты погрузки, соответствующие нормам и правилам перевозки по железным дорогам общего пользования, согласованы с ОАО «РЖД».

Выпуск биг-бегов повышенной вместимости освоило ООО «Дорогобужский полимер», предприятие полного цикла производства упаковки для продукции Группы «Акрон». Новые МКР-540, изготовленные в соответствии с требованиями к таре для минеральных удобрений, будут использоваться для поставок аммиачной селитры и азофоски на внутренний и внешний рынок.

По словам исполнительного директора ПАО «Дорогобуж» Евгения Созинова, идея оптимизации процесса погрузки реализована в рамках заводской программы по снижению себестоимости. Эффект достигается за счет экономии используемых биг-бегов, при этом их количество при увеличенной вместимости осталось прежним – 128 шт. на полувагон, и за счет снижения расходов на перевозку тонны продукции. По сравнению с применением стандартных «полутонников» экономия на одном вагоне оценивается в 5,4 тыс. рублей. Планируемый экономический эффект от внедрения новой схемы составит 42 млн рублей в год.

Пресс-релиз ПАО «Акрон» от 07 августа 2018 г.
 Департамент по связям с общественностью ПАО «Акрон»:
 Татьяна Смирнова; Анастасия Громова; Сергей Дорофеев
 Тел.: +7 (495) 777-08-65; (доб. 5196) pr@acron.ru

Группа «Акрон» – один из ведущих вертикально интегрированных производителей минеральных удобрений в России и мире. Химические предприятия Группы расположены в Великом Новгороде (ПАО «Акрон») и Смоленской области (ПАО «Дорогобуж»). Группа ведет собственную добычу фосфатного сырья в Мурманской области (АО «СЗФК») и реализует проект по разработке калийного месторождения в Пермском крае (ЗАО «ВКК»), имеет собственную транспортно-логистическую инфраструктуру, включающую три портовых терминала на Балтике, и сбытовые сети в России и Китае. Дочерняя компания ПАО «Акрон» – North Atlantic Potash Inc. (NAP) – владеет лицензиями на добычу на 13 участках месторождения калийных солей Прерии Эвапорит в провинции Саскачеван (Канада). «Акрон» также владеет миноритарным пакетом акций (19,8%) в польской компании Grupa Azoty S.A., одном из крупнейших производителей химической продукции в Европе.

В 2017 году объем продаж Группы составил 7,3 миллиона тонн различной продукции. Поставки осуществлялись в 65 стран мира. Основными рынками сбыта Группы являются Россия, Бразилия, Европа и США.

В 2017 году консолидированная выручка Группы по МСФО составила 94 342 миллиона рублей (1 617 миллионов долларов США), а чистая прибыль – 14 260 миллионов рублей (244 миллиона долларов США). Акции ПАО «Акрон» включены в котировальный список первого уровня Московской биржи, глобальные депозитарные расписки торгуются на Лондонской фондовой бирже (тикер AKRN). Персонал Группы «Акрон» насчитывает около 11 тысяч человек.

Подробную информацию о компании можно найти на сайте www.acron.ru

