

А. А. Моисеев, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: slow.coach@yandex.ru,
ГосНИИ химмотологии, Москва

Модель продаж стандартными партиями

Рассматривается метод оптимизации продаж мелких партий товара в ситуации плавающей цены на него. Целью продаж в конечном итоге является максимизация прибыли, и предлагаемые мероприятия по оптимизации продаж подчинены этому критерию. В качестве метода реализации товара рассматривается его распродажа мелкими фиксированными долями — лотами, в ходе которой темп роста прибыли определяется текущей ценой партии и темпом сделок. В качестве товара могут выступать, например, партии акций или валюты, обладающие свойствами стандартности, серийности и ликвидности и продаваемые по биржевому курсу в рамках сделок по схеме SPOT (at a spot — на месте, немедленная поставка товара с немедленной оплатой). Оптимизационная процедура определяет текущее предложение товара и блокирует продажи в случае снижения цены ниже допустимого уровня. При разработке этой процедуры используется предположение, что запас товара ограничен и имеется также ограничение на время проведения торгов. Цена продажи предполагается плавающей, однако при ее падении ниже минимально допустимой продажи блокируются. В случае же, если разность текущей и минимальной цен превышает некоторую величину, продажи осуществляются в предельном темпе. Предусматривается также активизация продаж в конце торгов. В рамках этой работы учитывается также влияние встречных покупок товара на тех же условиях. Процедура реализована в форме трехпозиционного широтно-импульсного регулятора, формирующего команды на продажу, покупку и приостановление активности. Проведенные в рамках разработки численные эксперименты показывают, что организованная таким образом оптимизационная процедура обнаруживает поведение, качественно соответствующее интуитивно разумному поведению на торгах. Вероятно при условии предварительной настройки к условиям конкретных торгов, она могла бы быть использована для моделирования динамики котировок и в перспективе послужить аналитической основой для создания торгового алгоритма.

Ключевые слова: численный эксперимент, идентификационная модель, торговый алгоритм, широтно-импульсный регулятор, оптимизация, торги, лот, SPOT, транзакция, ликвидность

Целью продаж в конечном итоге является максимизация прибыли и все мероприятия по оптимизации продаж должны быть, естественно, подчинены этому критерию. Возможным методом реализации товара является его распродажа мелкими фиксированными долями — партиями, в ходе которой темп роста прибыли определяется текущей ценой партии и темпом сделок. В качестве товара могут выступать, например, партии акций или валюты, обладающих свойствами стандартности, серийности и ликвидности [1] и продаваемые по биржевому курсу в рамках сделок по схеме SPOT [2]. В рамках этой работы учитывается также влияние встречных покупок товара на тех же условиях [3].

Оптимизирующая процедура

При разработке оптимизирующей процедуры будем исходить из предположения, что запас товара ограничен и имеется также ограничение на время проведения торгов. Цена продажи x предполагается плавающей, однако при ее падении ниже минимально допустимой продажи блокируются. В случае если разность текущей и минимальной цен превышает некоторое значение Δ продажи осуществляются в предельном темпе.

Возможная схема оптимизации продаж приведена на рис. 1. Ее основой является генератор импульсов [4] разблокировки продаж **unlock** с адаптивно изменяемой скважностью, определяемой величиной

$$d = \min\left(1, \frac{\Delta}{x - x_0 f}\right),$$

где f — значение штрафной функции, определяемой ниже; x_0 — начальное значение минимальной цены.

Этот генератор выступает в качестве широтно-импульсного модулятора, управляющего генерато-

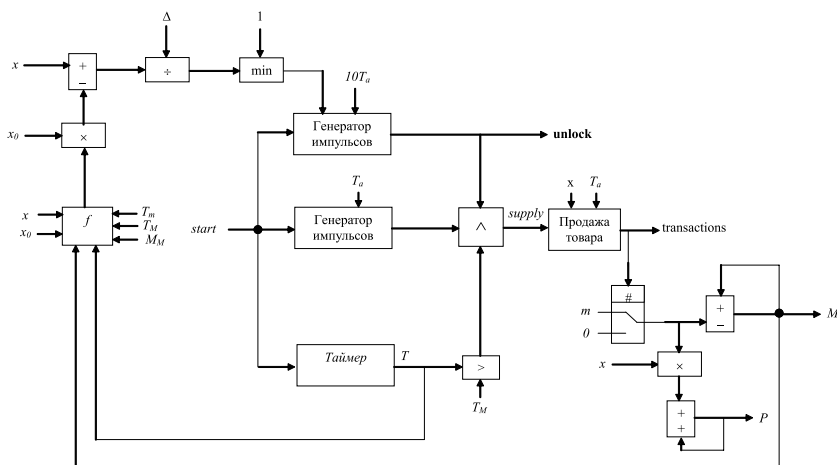


Рис. 1. Схема оптимизации продаж

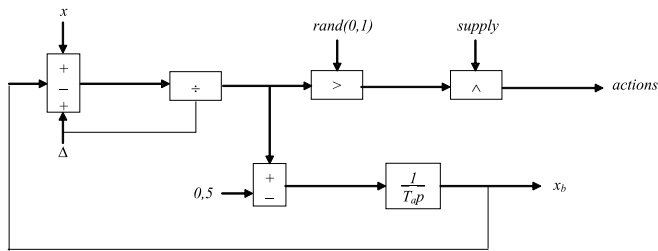


Рис. 2. Модель решения о покупке товара

ром импульсов предложения товара в предельном темпе. Длительность этих импульсов соответствует длительности совершения сделки T_a , а период следования определяется темпом сделок и в рассматриваемой модели составляет $\sim 10T_a$. Модуляция осуществляется путем логического перемножения выходных импульсов генераторов с формированием на выходе потока предложений *supply*.

Принятие решения о покупке при наличии предложения моделируется процедурой, отображенной на рис. 2. Покупка осуществляется, если стандартное случайное число *rand*, равномерно распределенное в интервале (0,1), больше порога, образованного относительным превышением текущей цены x минимальной цены покупателя $x_b - \Delta$, где x_b — максимальная допустимая цена. Для моделирования вариации последней в ходе продаж на вход формирующего интегратора подается центрированное превышение минимальной цены. Признак превышения случайным числом относительного превышения логически перемножается с признаками предложения *supply*, формируя поток сделок *actions*. Этот поток управляет мультиплексором, входящим в состав калькулятора текущего запаса товара. При подаче импульса, соответствующего сделке, запас товара M уменьшается на объем партии m . Запас товара и объем партии выражаются в процентах от начального запаса товара M_M .

Пуск продаж осуществляется командным импульсом *start* (см. рис. 1), который запускает оба генератора и таймер, рассчитывающий текущее время операции T . Завершение продаж осуществляется по истечении заданного времени операции T_M .

При увеличении превышения текущей цены x над текущей минимальной ценой x_0 f скважность адаптивного модулятора снижается и он формирует более длительные импульсы. Средний темп продаж при этом возрастает. Если же указанное превышение превзойдет значение Δ , продажи разблокируются полностью и осуществляются в предельном темпе. Уменьшение превышения напротив ведет к увеличению скважности и снижению длительности разблокирующих импульсов. Средний темп про-

даж при этом убывает, стремясь к нулю при приближении текущей цены к минимальной.

Расчет прибыли P осуществляется путем ее прогрессивного наращивания на величину $x \cdot m$ в случае, если имеет место продажа партии, т. е. при $actions = 1$. Расчет прибыли выполняется с нулевого значения сумматором, охваченным положительной обратной связью.

Наложенные ограничения на время операций и запас товара требуют обеспечения плавающего уровня минимальной цены. Для решения этой задачи предлагается использовать мультипликативную штрафную функцию f [5], вида $f = 1 + \Delta f_T + \Delta f_M$, схема формирования которой отображена на рис. 3.

Влияние истечения времени торгов учитывается компонентой Δf_T , определяемой соотношением:

$$\Delta f_T = \frac{y}{1-y};$$

$$y = \max\left(0, \frac{T - T_m}{T_M - T_m}\right),$$

где $T_m \sim 0,7 \div 0,8 T_M$ — время перехода к завершающей стадии торгов.

Эта компонента позволяет снизить минимальную цену и тем самым активизировать продажи перед окончанием торгов.

Влияние наличного запаса товара учитывается компонентой Δf_M , основу которой составляет оценка разности модулей текущего темпа убывания относительного запаса товара и половины максимального темпа убывания указанного запаса. Последний находится экспериментально при полностью разблокированных продажах. Текущий темп убывания формируется на выходе форсирующего устройства с постоянной времени, равной 1. Эта величина подается на вход интегратора, формирующего компоненту Δf_M , причем вход интеграто-

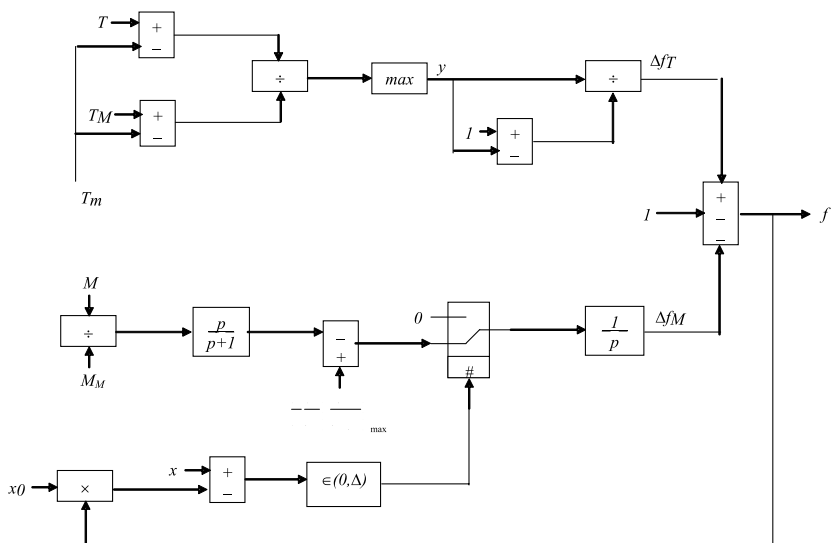


Рис. 3. Схема формирования штрафной функции

ра обнуляется (т. е. выход фиксируется), если разность текущей цены x и плавающей максимальной цены $x_0 f$ лежит в диапазоне $(0, \Delta)$. Построенная таким образом компонента позволяет варьировать уровень минимальной цены и, следовательно, объем продаж в ситуации значительного отклонения текущей цены от минимальной, а также отчасти разблокировать продажи в ситуации значительного снижения текущей цены.

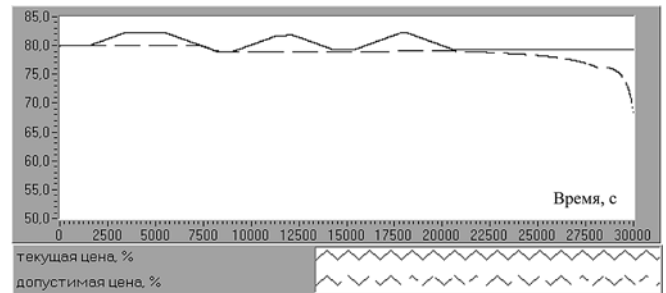
Результаты численных экспериментов

Результаты численных экспериментов по исследованию временной зависимости продаж с использованием построенного оптимизатора приведены на рис. 4–6. На рис. 4 отображена временная зависимость продаж в случае благоприятной конъюнктуры цен, когда имеет место тенденция их роста с кратковременными колебаниями. На рис. 4, *а* отображена динамика текущей и допустимой цены, а на рисунке 4, *б* — динамика запаса товара и текущей прибыли. Их анализ показывает, что наблюдается некоторый рост минимальной цены, а продажи происходят практически в предельном темпе. Некоторое снижение текущей цены имеет место в конце торгов, однако увеличение темпа продаж, вызванное уменьшением допустимой цены, компенсирует влияние этого снижения.

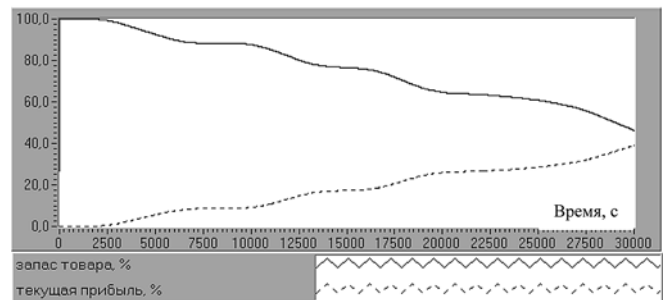
Временная зависимость продаж при колеблющейся конъюнктуре отображена на рис. 5. В соответствии с рис. 5, *а*, в этом случае отсутствуют тенденции к росту или понижению цены и ее изменения имеют вид кратковременных колебаний. Темп продаж в этом случае возрастает на участках роста

цены и снижается на участках ее убывания. Рост темпа продаж в конце торгов вызывается, как и в первом случае, снижением допустимой цены. Аналогичную динамику обнаруживает прибыль, отображенная на рис. 5, *б*, результирующая величина которой существенно ниже, чем в первом случае.

Динамика продаж при неблагоприятной конъюнктуре, когда имеет место тенденция к их снижению, отображена на рис. 6. В соответствии с рис. 6, *а*

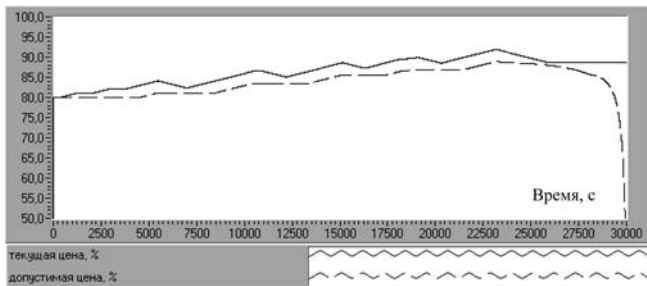


а)

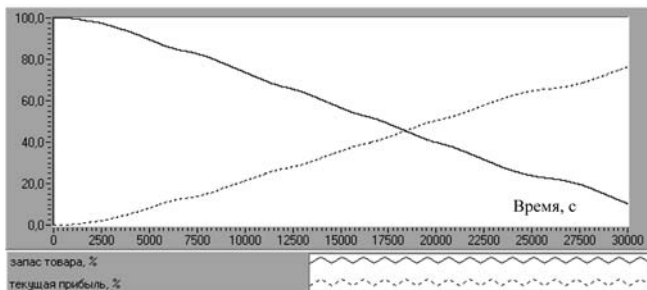


б)

Рис. 5. Временная зависимость продаж при колеблющейся конъюнктуре

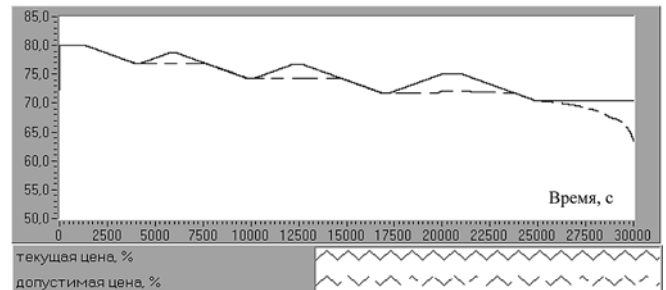


а)

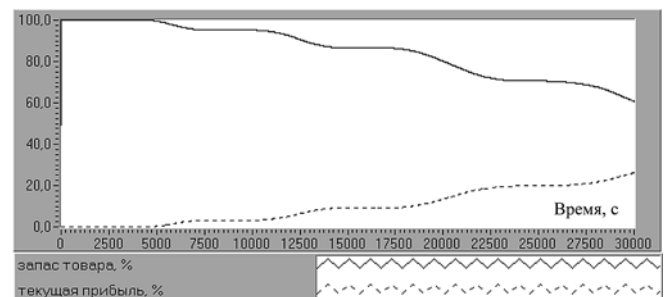


б)

Рис. 4. Временная зависимость продаж при благоприятной конъюнктуре



а)



б)

Рис. 6. Временная зависимость продаж при неблагоприятной конъюнктуре

продажи, как и во втором случае, происходят в основном на участках роста цены и блокируются на участках ее убывания. Рост темпа продаж в конце торгов вызывается, как и ранее, снижением допустимой цены. Результирующая прибыль, отображенная на рисунке б, б, несколько ниже, как и следовало ожидать, чем во втором случае.

Проведенные численные эксперименты показывают, что оптимизационная процедура обнаруживает поведение, качественно соответствующее интуитивно разумному поведению на торгах. Вероятно, при условии предварительной настройки к условиям конкретных торгов, она могла бы быть использована для моделирования динамики котировок и в перспективе послужить аналитической основой для создания торгового алгоритма.

Список литературы

1. **Миркин Я. М.** Ценные бумаги и фондовый рынок. М.: Перспектива, 1995, 550 с.
2. **Рынок** ценных бумаг и биржевое дело / под. ред. О. И. Дегтяревой и др., М.: Юнити, 2004, 501 с.
3. **Моисеев А. А.** Виртуализация квалификационных испытаний // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 10. С. 40.
4. **Моисеев А. А.** Проблемно-ориентированное моделирование технологических процессов в интерактивном синтезе алгоритмов автоматического управления // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. № 2. С. 26.
5. **Васильев Ф. П.** Методы оптимизации. М.: Факториал, 2002. 824 с.

A. A. Moiseev, PhD., Senior Researcher, e-mail: slow.coach@yandex.ru
National Research Institute of Chimnotology

Mathematical Model of Auction Sale with Lots

Optimization method of lots sale considered in situation of volatile price. Usual sale aim is profit maximization and proposed optimization procedure must follow to this criterion. Lots sale is considered here as method of assets realization and profit rate defined with fluent price and transactions rate. Stock or currency lots are standard liquid assets and can be on sale in form of SPOT dealing. Optimization procedure determines fluent offer in situation when assets reserve and tender time are limited. Assets price is volatile but procedure can lock the sales in case of intolerable prices drop. It provides also maximal sales rate in case when difference between fluent and minimal price exceeds some threshold. Procedure provides also the sales activation at the tender completion and counter purchases on the same conditions. Procedure implemented in form of three — positional pulse-duration controller which generates commands on sales, purchases and activity suspension. Performed numerical experiments showed that optimization procedure provides behavior, which corresponds to intuitively reasonable one. Probably at preliminary adjustment to specific tender conditions such a procedure could be used for simulation of quotation dynamics. Besides it could be used in sight as a base for trade algorithm development.

Keywords: numerical experiment, simulation model, trade algorithm, pulse-duration controller, optimization, tender, lot, SPOT, transaction, liquidity

References

1. **Mirkin Ya.** Tsennye bumagi i fondowy rynek (Securities and stock market), Moscow, Perspektiva, 1995, 550 p.
2. **Securities** market and activities at stock exchanges, edited by Degtiareva O. I. ea, Moscow, Unity, 2004, 501 p.
3. **Moiseev A. A.** Virtualization of qualification tests, *Industrial ASC and controllers*, 2015, no. 10, p. 40.
4. **Moiseev A. A.** Probleme-oriented modeling of technological processes at interactive synthesis of control algorithms, *Industrial ASC and controllers*, 2015, no. 2, p. 26.
5. **Vasiliev F. P.** *Metody optimizatsii (Optimization methods)*, Moscow, Factorial, 2002, 824 p.