

МОДЕЛИ СОВМЕСТНОГО АГРОСТРАХОВАНИЯ И ХЕДЖИРОВАНИЯ ЦЕНОВЫХ РИСКОВ НА ПРОИЗВОДИМУЮ ПРОДУКЦИЮ

Киселев В.Г.

ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия
vgkiselev@yandex.ru

Аннотация: В работе рассматриваются различные постановки задачи оптимального совместного агрострахования и хеджирования. В качестве примеров рассматриваются две наиболее известные программы страхования урожая и дохода и два способа хеджирования цен – хеджирование фьючерсом и опционом ПУТ.

Ключевые слова: стратегии, урожайность, доход, страхование, хеджирование, надежность.

Введение

Доходы сельскохозяйственного производства в значительной степени зависят от ряда дестабилизирующих факторов. Главные из них – это стохастическая природа урожайности и неопределенность цены на выращенную продукцию.

Урожайность зависит от случайных погодных факторов, от изменчивости климатической обстановки, от обеспеченности техническими средствами, от человеческого фактора и многих других факторов. Для всех районов страны имеется достаточно большая статистика по урожайности различных культур.

Если задача прогноза урожайности в зависимости от погодных условий достаточно изучена, то с прогнозом цен все гораздо сложнее. В условиях идеального рынка должна существовать отрицательная корреляция уровня урожайности и цены, но реальный рынок отличается от идеальной модели, что отмечается в публикуемых обзорах

Известны три способа борьбы с рисками в таких производствах, каким является растениеводство в сельском хозяйстве. Это: диверсификация производства, страхование и хеджирование.

Под диверсификацией производства понимают расширение ассортимента выпускаемой продукции и освоение новых видов деятельности. Это означает отказ от выращивания монокультуры и освоение новых видов деятельности. Желательно, чтобы новые виды деятельности приносили стабильный доход. Например, в последнее время становится популярным аграрный туризм, который не связан с основным производством.

Агрострахование, как способ борьбы с погодными рисками, подробно было изучено в работах автора [1-3] и эти результаты будут здесь использоваться. Существует два вида агрострахования: страхование урожая и страхование дохода от производимой продукции. В свою очередь, эти способы страхования подразделяются на ряд подпрограмм. В данной работе в качестве примера будут рассмотрены только две программы страхования, но это не ограничивает общности рассматриваемой задачи.

Хеджирование, как способ борьбы с ценовыми рисками, широко используется на финансовых рынках. В работах [4,5] известные методы ценового хеджирования были применены к сельскохозяйственной специфике, в частности, когда проводится хеджирование произведенного товара неопределенного количества.

Большое внимание проблеме стабилизации доходов в агросекторе уделяется за рубежом. В качестве примера таких исследований приведем работы [6-9]. Тематика работы [9] близка к проблемам, рассматриваемым в данной работе.

Производителя сельскохозяйственной продукции интересует как величина получаемых доходов, так и надежность их получения. Для получения желаемого результата следует

исследовать целесообразность совместного использования перечисленных выше способов борьбы с рисками производства.

1. Постановка задачи

Рассмотрим следующую ситуацию. Весной, перед посевом, фермер должен решить, какую стратегию защиты от возможных рисков ему выбрать. В его распоряжении имеются различные, перечисленные выше возможности. Пусть также вопрос о диверсификации им решен. Тогда он может, вообще говоря, выбрать несколько программ страхования и соответствующие им страхуемые площади, а также выбрать способ и тактику хеджирования.

Поставим задачу разработки математической модели, с помощью которых можно исследовать целесообразность возможных вариантов стабилизации дохода и выбрать подходящее решение. В качестве критериев будем рассматривать величину среднего дохода хозяйства и надежность получения продукции.

2. Программы агрострахования

Существует два вида страхования в растениеводстве – страхование урожая и страхование дохода. Здесь в качестве примера будет дано краткое описание двух основных программ страхования. Уровень покрытия по этим программам базируется на средней урожайности каждого отдельного хозяйства.

Суть процесса любого страхования заключается в следующем. В начале года страховая компания и агрофирма заключают договор о страховании некоторой культуры в определенном согласованном размере, по которому агрофирма должна выплатить страховщику некоторое количество денег в размере $\pi = \delta\Phi$, где δ – страховой тариф, а Φ – страховая сумма – та сумма, на которую заключен договор страхования. Часть γ этой суммы погашается или из федерального, или из местного бюджета. Тогда агрофирма реально за заключенный договор должна заплатить только $\pi_f = (1 - \gamma)\pi$. В момент уборки оценивается количество полученного урожая (или дохода, в зависимости от вида страхования) и страховая фирма выплачивает фирме некоторую компенсацию в размере r . Для каждой программы страхования все эти значения конкретизируются.

2.1. Мультирисковое индивидуальное страхование урожая

Рассмотрим для примера случай страхования урожая одной культуры одной фирмой на площади S . Пусть y – урожайность этой культуры и пусть прогнозная цена единицы полученной продукции равна c . Страховая урожайность y_α – то значение урожайности, ниже которой страховая компания выплачивает страховое возмещение, равное стоимости недополученного урожая. Обычно значение страховой урожайности задают в виде $y_\alpha = \alpha E y$, где $0 < \alpha < 1$ – некоторый коэффициент. При сделанных предположениях страховая сумма, исходя из которой определяется величина страхового взноса, равна $cS y_\alpha$. Страховая премия равна $\Pi = \delta cS y_\alpha (1 - \gamma)$. Страховое возмещение в программе страхования урожая равно $R = \max[0, cS (y_\alpha - y)]$. Строчные буквы π, r , которые будут использоваться в дальнейшем, имеют тот же смысл, но для единичной площади.

Если страховая урожайность равна y_α , то это значит, что недобор до этого застрахованного уровня будет компенсироваться страховой компанией, т.е. с вероятностью

единица будет получен урожай $y \geq y_\alpha$ (в денежном выражении). Этим показателем пользуются при практическом страховании, но возможны и другие оценки стабильности производства, например, дисперсия – общепринятая в теории вероятностей оценка разброса случайной величины.

Теперь об экономическом показателе фермерского производства при мультирисковом страховании. Доход фирмы является случайной величиной, зависящей от случайной урожайности и рыночной цены на выращенную продукцию и равен доходу от продажи продукта минус страховая премия и плюс страховое возмещение, т.е. $D = cy + r - \pi$.

2.2. Страхование дохода

Пусть c_n – прогнозируемая весной на период уборки (так называемая базовая) цена, c – реальная цена продукции в момент уборки урожая, c_2 – так называемая «гарантированная» цена и $c_2 = \max[c_n, c]$.

С помощью гарантированной цены вводится понятие полной гарантии дохода e_2 .

Как и в программе страхования урожая, можно ввести понятие страховой урожайности $y_\alpha = \alpha E y$. Тогда полная гарантия дохода $e_2 = c_2 y_\alpha$ и страховая премия равна (для единичной застрахованной площади) $\pi = \delta c_n y_\alpha$.

Страховое возмещение выплачивается тогда, когда выручка оказывается меньше полной гарантии. Таким образом, программа страхования дохода компенсирует падение выручки как в результате падения цен, так и в результате снижения урожайности. В общем случае страховое возмещение равно $r = \max[(e_2 - cy), 0]$.

Величина дохода и среднего дохода описывается такими же формулами, что и в программе страхования урожая.

3. Хеджирование фьючерсом и покупкой опциона ПУТ в условиях агропроизводства

Рассмотрим теперь другой способ стабилизации доходов фермерского хозяйства – хеджирование. Хеджирование, как способ борьбы с ценовыми рисками, широко используется на финансовых рынках. В работах [5,6] известные методы ценового хеджирования были применены к сельскохозяйственной специфике, в частности, когда проводится хеджирование произведенного товара неопределенного количества. Из всего многообразия способов хеджирования рассмотрим два, наиболее распространенных способа – хеджирование фьючерсом и хеджирование опционом ПУТ. Дальнейшее изложение будет проводиться в предположении справедливости классического закона рынка – обратной зависимости цены и количества продаваемого на рынке товара.

Весной при посеве некоторой культуры на площади S фермер прогнозирует собрать урожай в количестве Y_p по цене c_p и выручить $R_p = Y_p \times c_p$. При этом он имеет возможность с целью защиты от снижения цен провести операции хеджирования фьючерсом и опционом ПУТ.

3.1. Стратегия хеджирования фьючерсом

Весной на биржевом рынке осенние фьючерсы (с исполнением осенью) на выращиваемый товар со стандартным количеством a продаются по цене c_{fo} . У фермера в

этот момент имеется возможность выбора – какое количество x_f таких фьючерсов продать. Естественно, что должно выполняться ограничение $x_f a \leq Y_p$.

Рассмотрим теперь ситуацию осенью в момент уборки урожая.

Случай 1. Полученный урожай оказался меньше планируемого, т.е. $Y < Y_p$. Если такая тенденция наблюдается у большинства продавцов аналогичного товара, то цена на этот товар по законам рынка возрастет, т.е. текущая рыночная цена $c > c_p$ и в силу положительной коррелированности фьючерсная текущая цена также будет больше прогнозной цены с осенним исполнением, т.е. $c_f > c_{fo}$.

На товарном рынке. Продав всю выращенную продукцию, фермер получит выручку $R = Yc$. Возможны два случая: полученная выручка или больше (из-за большей по причине возросшей рыночной цены) или меньше запланированной, но в любом случае необходимо закрыть открытую весной фьючерсную позицию, совершив офсетную сделку. Для этого надо продать имеющиеся фьючерсы в количестве x_f по цене c_{fo} и купить такое же количество фьючерсов по текущей возросшей цене c_f . В результате такого хеджирования получим окончательный доход (без учета текущих затрат) $RF = R - a x_f (c_f - c_{fo})$, величина которого зависит от конкретных параметров, определяющих его.

Этот вариант можно рассматривать просто как случай повышения рыночных цен. Тогда эффект от повышения цены на товар нивелируется в некоторой степени убытком на фьючерсном рынке.

Случай 2. Пусть теперь $Y > Y_p$. Если такой же хороший результат у многих продавцов этого товара, то по законам рынка должны выполняться следующие соотношения: $c_f < c_{fo}$ и $c < c_p$. Это классический случай понижения цен на рынке.

После проведения офсетной операции, закрыв фьючерсную позицию, получим на фьючерсном рынке компенсацию в размере $a x_f (c_{fo} - c_f)$ за потери на реальном рынке и в результате обеих операций получим доход $RF = R + a x_f (c_{fo} - c_f)$.

3.2. Стратегия хеджирования опционом ПУТ

Рассмотрим хеджирование опционом ПУТ, который дает право продать базовый фьючерсный контракт. Покупатель вносит плату за это право. Эта плата называется премией и является возрастающей функцией страйк-цены. Премия выплачивается сразу, при покупке опциона. Покупатель опциона может реализовать (исполнить) свое право в любое время до окончания срока действия опциона – времени экспирации.

Опишем стратегию такого хеджирования. Весной покупаем x_o опционов ПУТ по цене страйк c_{fo}^0 , т.е. покупаем право продать осенью x_o фьючерсных контрактов на товар со стандартным количеством a по цене c_{fo}^0 . Естественно, должно выполняться ограничение $x_o \times a \leq Y_p$. За это право фермером выплачивается премия $P(0) = x_o \times \pi(c_{fo}^0)$.

Осенью возможны такие же рассмотренные выше варианты.

1^0 . Полученный урожай оказался меньше планируемого, т.е. $Y < Y_p$. Тогда, как и в выше рассмотренном случае хеджирования фьючерсом, по законам рынка текущая рыночная цена

будет $c > c_p$ и фьючерсная текущая цена также будет больше прогнозной цены с осенним исполнением, т.е. $c_f > c_{fo}^0$.

Продав на рынке имеющийся в наличии товар, позволим опциону истечь, получим в результате операций на реальном и биржевом рынке доход $RO = R - \Pi(0)$, который тоже может быть больше запланированного за счет большей рыночной цены.

2⁰. Рассмотрим теперь случай $Y > Y_p$. Тогда, как и в случае фьючерсного хеджирования, должны выполняться следующие соотношения: $c_f < c_{fo}$ и $c < c_p$.

Продаем на рынке выращенную продукцию, а на фьючерсном рынке купленные весной опционы можно продать, по крайней мере, по цене их внутренней стоимости, получив при этом премию $\Pi(T) = x_o(c_{fo} - c_f)$. Это объясняется тем, что премия равна сумме внутренней и внешней стоимостей опционов, а внешняя стоимость опциона в момент экспирации равна нулю, а внутренняя стоимость опциона ПУТ равна разности между ценой исполнения страйк и текущей базовой фьючерсной ценой.

В предыдущем случае мы продать опцион не можем, так как он вне денег ($c_f > c_{fo}^0$) и $\Pi(T) = 0$. В результате этих двух операций получим выручку $RO = R + \Pi(T) - \Pi(0)$.

4. Выручка фермерского хозяйства при различных вариантах совместного страхования и хеджирования

Выше было изложено несколько экономических способов стабилизации доходов фермерского хозяйства – различные программы агрострахования, хеджирование фьючерсами и хеджирование опционами. Были описаны экономические результаты применения каждого из этих способов по отдельности. Однако имеется, вообще говоря, возможность распоряжаться некоторыми параметрами в этих методах, а также применять эти методы одновременно в различных сочетаниях. Опишем эти возможности.

Имеется ряд программ страхования. В качестве примера были кратко описаны две из них – индивидуальные программы страхования урожая и дохода. Вообще говоря, мы можем применить для страхования выращиваемой культуры несколько программ страхования одновременно. Для этого надо разбить всю засеваемую площадь S на некоторое количество участков и на каждом участке площадью S_j , $\sum_j S_j = S$ применить свою программу

страхования. В результате этих действий получим экономический эффект $\Delta I = \sum_j S_j(r_j - \pi_j) = \sum_j \Delta I_j$. Варьируемыми переменными здесь являются величины площадей.

В работе [1] было показано, что выбор программы страхования – неформальная задача, поскольку, например, этот выбор зависит от опыта ведения хозяйства, но мы здесь оставляем эту возможность ради общности изложения.

При хеджировании фьючерсом экономический эффект $\Delta F(x_f)$ вычисляется по приведенным выше формулам и зависит от количества проданных фьючерсов, которое должно удовлетворять ограничению $x_f a \leq Y_p$, в котором все входящие величины описаны выше. Таким образом, при хеджировании фьючерсом одной переменной является величина x_f , определяющая количество проданных фьючерсов.

При хеджировании опционами, согласно описанному выше алгоритму, величина экономического эффекта $\Delta O(x_o, c_{fo}^0)$ зависит от количества купленных опционов ПУТ и от цены этих купленных опционов, которая определяет величину премии, которую надо заплатить весной при совершении биржевой сделки. Эти перечисленные сейчас переменные являются варьируемыми переменными задачи выбора оптимальной стратегии опционного хеджирования.

Мы можем рассматривать различные постановки задач стабилизации фермерского дохода, т.е. различные сочетания возможностей (страхование – хеджирование фьючерсом, страхование – хеджирование опционом, хеджирование фьючерсом – хеджирование опционом, выбор оптимальных параметров отдельной процедуры и так далее).

В самом общем случае экономический эффект от совместного использования всех возможностей определяется выражением для фермерской выручки

$$D = R + \sum_j \Delta I_j(S_j) + \Delta F(x_f) + \Delta O(x_o, c_{fo}^0) = R + \Delta D.$$

Здесь на выбор количества проданных фьючерсов и количества купленных опционов ПУТ должно быть наложено совместное ограничение $(x_f + x_o)a \leq Y_p$, которое означает, что суммарное количество товара, которое собираемся продавать на фьючерсном и опционном рынке, не должно превосходить планируемого производства.

Выручка в текущий год является случайной величиной, зависящей от урожайности культуры, цены на рынке в момент реализации товара и от фьючерсной осенней цены. Поэтому величину экономического эффекта от всех антирисковых мероприятий, будет характеризовать средним значением выручки и некоторым показателем разброса, например, ее дисперсией. Естественно, одним из желаний при выборе переменных, будет получение максимальной средней выручки. Поскольку величина R не зависит от искомых переменных, то это требование можно записать в виде $\max E(\Delta D)$.

Данная задача двухкритериальная. Второй критерий – это характеристика разброса выручки. Заметим, что в агростраховании было показано, что средний доход и характеристики разброса связаны обратной зависимостью. В данной более сложной задаче надо проводить дополнительное исследование, но это, как и метод решения этой задачи, является предметом будущих исследований.

5. Заключение

Рассмотрены различные постановки задачи борьбы с рисками уменьшения выручки фермерского хозяйства, включающие в себя различные программы страхования урожая и хеджирования на биржевом рынке. В качестве примера этих способов борьбы с потерями дохода дано краткое описание программ индивидуального страхования урожая и дохода и приведен алгоритм хеджирования цен фьючерсом и покупкой опциона ПУТ при различных ситуациях на рынке товаров и фьючерсном рынке.

Приведена формула, описывающая выручку фермерского хозяйства при совместном применении всех методов борьбы за стабилизацию доходов фермерского хозяйства. В данном случае выручка зависит от ряда случайных переменных природного и экономического характера и некоторых параметров, определяющих суть этих методов. Предлагается словесная формулировка задачи определения оптимальных значений этих параметров как двухкритериальной задачи стохастической оптимизации.

Строгая математическая постановка это оптимизационной задачи и метод ее решения анонсируется как задача будущих исследований.

Литература

1. *Киселев В.Г.* Обоснование региональной мультирисковой программы страхования сельскохозяйственных культур. // Управление большими системами, Сборник трудов. Выпуск 61. М.: ИПУ РАН, 2016. С.168–190.
2. *Киселев В.Г.* Информационная база региональной системы агрострахования. // Труды 5-й международной конференции «Управление большими системами». М.: ИПУ РАН, 2011.
3. *Kiselev V.G.* Information support in agri-insurance. // IEEE Xplore Digital Library. Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD), Moscow, Russia, 2017.
4. *Киселев В.Г.* Особенности информационного обеспечения системы страхования сельскохозяйственного производства. // Материалы международной научно-практической конференции «Математика и ее приложения. Экономическое прогнозирование: модели и методы», г. Орел, 2011. С.236–240.
5. *Киселёв В.Г.* Методы хеджирования дохода в растениеводческой отрасли сельского хозяйства // Теория и практика экономики и предпринимательства: Труды XVIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Симферополь-Гурзуф, 29-29 апреля 2021 г. – Симферополь, издательский дом КФУ, 2021. – 420 с. ISBN 978-5-6046332-2-9. С. 286-290.
6. *Киселев В.Г.* Хеджирование финансовых рисков в фермерских растениеводческих хозяйствах. // Информатика, Проблемы, Методы, Технологии / Сб. материалов XXI Международной конференции. Воронеж, 11-12 февраля 2021, С 1219-1226, ISBN 978-5-6045486-2-2
7. *Shashi Kiran A.S., K.B. Umesh.* Crop Insurance – Strategy to minimize risk in Agriculture // International Economics, Brasil, 2012.
8. *Lutfor R.M.* Crop insurance as a risk reducing measure: issue and problem // Bangladesh journal of public administration, 1990. Vol.4.
9. Руководство по хеджированию зерновых и масличных культур с помощью фьючерсов и опционов. // cmegroup.com/trading/agricultural/files/AC216_GrainOilseed_Hedging_Guide_Russian_SP.pdf
10. *Mahul, O.* Hedging crop risks with insurance futures and options. // Paper presented at the NCR-134 Conference on applied Commodity Price Analysis, Forecasting, and Market Risk management St. Louis, Missouri, April 22-23, 2002