

# Анализ развития основной U-гармоники (university) и B-гармоники (business) в модели «тройной спирали»



**П. Н. Дробот,**  
к. ф.-м. н., доцент  
dpn7@mail.ru



**Д. А. Дробот,**  
инженер, специалист по маркетингу  
tomsk3000@mail.ru

**Кафедра управления инновациями, факультет инновационных технологий,  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)**

*Модель инновационного развития «тройная спираль» (ТС) завоевала популярность в инноватике благодаря своей наглядности. Однако использовать ее для количественных оценок сложно, так как в области тройного взаимодействия спиралей оценить его количественно весьма затруднительно. Использование аналогий помогает понять сложность тройной спирали. Существует явление спиральной неустойчивости плазмы конденсированной материи. Закономерности этой неустойчивости характеризуются сходством проявлений с моделью ТС и облегчают понимание ее механизмов.*

**Ключевые слова:** «тройная спираль», инноватика, спиральные гармоники, порог возбуждения, надкритичность.

## Введение

Применение модели «тройной спирали» (далее – ТС) именно в количественных оценках инновационных процессов не является очевидным. Сложность совместного поведения трех компонент в модели ТС затрудняет ее конкретное применение для количественных оценок взаимодействий спиральных гармоник университет, бизнес и власть. В связи с этим в предыдущей работе [1] была показана применимость к анализу модели «тройной спирали» метода аналогий, лежащего в основе методологии физической экономики Ларуша [2, 3], построенной по образу и подобию точных и естественных наук (в частности, физики) с привлечением математического моделирования. Это направление в экономике получило название «физическая экономика». Если в физических средах измерения физических величин чаще всего не вызывают принципиальных затруднений, то измерения в сложных социоэкономических средах характеризуются значительными трудностями. Задачей настоящих исследований является выработка подходов к пониманию закономерностей развития спиральных гармоник модели ТС и их взаимодействия, а затем и применения этого материала к количественным оценкам инновационных процессов.

## Обсуждение

Сопоставление и анализ аналогий проводились в работе [1] в отношении модели взаимодействия трех спиральных гармоник (университет, бизнес и власть) и модели спиральной (винтовой) неустойчивости (ВН) электронно-дырочной плазмы в полупроводниках (осцилляторный эффект) [4], когда возникают спиральные волны плотности плазмы в виде спиральных гармоник  $n_1(r, z, \varphi)$  с угловым (азимутальным) числом  $m=1, 2, 3$ , имеющие ясное математическое представление:

$$n_1(r, z, \varphi) = f(r, z) \exp(im\varphi + ik_z z - i\omega t),$$

где  $r, z, \varphi$  – цилиндрические координаты;  $k_z$  – составляющая волнового числа вдоль длины образца;  $m$  – угловое (азимутальное) число;  $\omega$  – круговая частота;  $f(r, z) = f_1(r) Z_0(z)$ ,  $Z_0(z)$  – некоторая слабая функция от  $z$ , показывающая, что плотность плазмы постоянна вдоль длины полупроводникового цилиндрического образца,  $f_1(r)$  – некоторая функция от радиуса, которая аппроксимируется функцией Бесселя первого порядка  $J_1(\beta_1 r)$ ,  $\beta_1 = (\alpha_1/a)$ ,  $\alpha_1$  – первый ноль  $J_1$ ,  $a$  – радиус цилиндрического образца.

Следует отметить, что и автор модели «тройной спирали» Г. Ицковиц использует метод электрических аналогий при рассмотрении теории поля «тройной спирали» [5]. По аналогии с напряженностью электрического поля, действующего на заряды, Ицковиц вводит напряженность поля взаимодействия в «тройной спирали» для иллюстрации степени, с которой спирали способствуют инновационной деятельности [5]. Также и в серьезных отечественных исследованиях уже неоднократно применялись физические модели для описания и изучения процессов развития инноваций, например, это работа [6].

Ранее [1] было показано, что основной спиральной гармоникой, обладающей наиболее низким порогом возбуждения среди всех трех спиралей, является спираль U-компоненты (university), в которую мы включаем и академическую науку. В силу этого U-спираль возникает первой на неразработанном поле инноваций, и потому роль университетов в модели «тройной спирали» является главной и превалярующей.

Физическая модель спиральной неустойчивости представляет собой осциллятор на основе полупроводникового цилиндра или параллелепипеда с инжектируемыми торцевыми контактами, один из которых инжектирует дырки, а другой — электроны. В таком режиме двойной инжекции создается электронно-дырочная плазма, в которой, при достижении пороговых условий, разных для различных значений  $m$ , возникают спиральные волны плотности плазмы с угловым числом  $m=1, 2, 3$ .

В настоящей работе проведен анализ возникновения, развития и стагнации основной спиральной U-компоненты в модели «тройной спирали» по аналогии с развитием основной гармоники  $m=1$  в модели спиральной неустойчивости, которая обладает наиболее низким порогом возбуждения среди всех гармоник  $m=1, 2, 3$ . Такое же исследование выполнено для спиральной B-компоненты по аналогии с развитием гармоники  $m=2$  в модели спиральной неустойчивости, которая обладает более высоким порогом возбуждения, чем гармоника  $m=1$ . Параметрами аналогий модели спиральной неустойчивости (ВН) и модели ТС является ряд понятий, которые могут быть общими для всех гармоник, но некоторые понятия и параметры присущи только каждой отдельной гармонике. В табл. 1 представлены соответствующие параметры для основной U-спирали, которые сопоставляются с известными параметрами модели ВН и показано их качественное воплощение в модели ТС.

Высокая мотивация исследователей складывается из разнородных материальных и моральных стимулов: заработная плата, будущие доходы от коммерциализации разработок, достижение индивидуальных и коллективных престижных результатов, задачи, поставленные государством и властью.

В модели спиральной неустойчивости возникновение спиральных волн плотности плазмы, в первую очередь гармоники  $m=1$ , обладающей наименьшим порогом возбуждения, происходит при совместном действии двух факторов:

- 1) электрическое поле  $E$ , направленное вдоль длины образца и созданное напряжением, приложенным к торцевым контактам цилиндрического полупроводникового стержня;
- 2) внешнее магнитное поле  $B$ , параллельное  $E$ .

Под действием поля  $E$  происходит небольшое разделение квазинейтрального винта плотности плазмы на электронную и дырочную компоненты и появление поперечного длине образца и оси  $z$  электрического поля  $E_{\perp} \sim E$ , вызванного этим сдвигом. Взаимодействие внешнего  $B$  и поперечного электрического поля  $E_{\perp}$  усиливает амплитуду спиральной волны, нагнетая все больше носителей заряда в спираль. Сила  $F_{ВН}$ , нагнетающая носители заряда в спираль, пропорциональна векторному произведению  $E_{\perp} \times B$ .

В модели «тройной спирали» аналогом силы  $F_{ВН}$  является сила  $F_{ТС}$ , происхождение которой вызвано трудом и энергией исследователей, работающих в университете над научно-технической разработкой и создающих новые научные и технические знания. Эти знания, будучи воплощенными в виде опубликованных научных статей, определяют возникновение спиральной волны U-гармоники и дальнейшее ее усиление по мере накопления новых знаний в данной научно-технической области и опубликования новых статей.

В работе каждого ученого, исследователя или творческого коллектива в новом научном направлении наступает момент, когда возникает необходимость первого опубликования нового накопленного научного материала. Именно появление первой научной публикации по данному научному или техническому направлению является порогом возбуждения спиральной U-гармоники.

Если работа в данном научном направлении продолжается, появляются новые знания, которые воплощаются в виде новых публикаций, тем самым увеличивая плотность публикаций в U-спирали. Это приводит к усилению U-гармоники, ее амплитуда увеличивается. Если работа в данном научном направлении прекращается, по каким-то разнообразным причинам, возникшая спиральная U-гармоника затухает.

Аналогом, эквивалентом, количеству (плотности) публикаций в модели ТС, является плотность носителей заряда, вовлеченных под действием силы  $F_{ВН} \sim E_{\perp} \times B$ , в спиральную гармонику  $m=1$  в модели винтовой (спиральной) неустойчивости полупроводниковой плазмы.

Амплитуда U-спирали будет увеличиваться пропорционально росту плотности публикаций также, как это происходит в модели спиральной неустойчи-

Таблица 1

Сопоставление параметров моделей

Спиральная неустойчивость	«Тройная спираль»
Инжекция носителей заряда	Энергия и труд исследователей
Плотность носителей заряда, в том числе в спирали	Количество опубликованных научных статей
Сила, нагнетающая носители заряда в спираль	Высокая мотивация исследователей

ности, когда амплитуда основной спирали  $m=1$  растет с ростом  $B$  и  $E$  выше их пороговых значений  $B_{\text{п}}$  и  $E_{\text{п}}$ , пропорционально плотности носителей заряда, вовлеченных в спираль. Этот процесс характеризуется параметром надкритичности, величиной, описывающей превышение некоторого параметра возбуждения над его пороговым значением. Например в модели спиральной неустойчивости это надкритичность по электрическому полю  $\Delta_{B=\text{const}}=(E-E_{\text{п}})/E_{\text{п}}$  или надкритичность по магнитному полю  $\Delta_{E=\text{const}}=(B-B_{\text{п}})/B_{\text{п}}$ . Поскольку существует пропорциональная связь  $F_{\text{ВН}} \sim E_{\perp} \times B$ , удобно ввести надкритичность по силе  $F_{\text{ВН}}$ , нагнетающей носители заряда в спираль:  $\Delta F_{\text{ВН}}=(F_{\text{ВН}}-F_{\text{ВНп}})/F_{\text{ВНп}}$ , где  $F_{\text{ВНп}}$  — сила на пороге возбуждения гармоники  $m=1$ .

Аналогом надкритичности  $\Delta F_{\text{ВН}}$  в модели «тройной спирали» является надкритичность  $\Delta F_{\text{ТС}}=(F_{\text{ТС}}-F_{\text{ТСп}})/F_{\text{ТСп}}$ , где  $F_{\text{ТСп}}$  — сила на пороге возбуждения U-гармоники. Ранее отмечалось, что интерес к конкретному научному направлению определяется разными факторами мотивации исследователей, например прогнозируемыми доходами от коммерциализации инновационных разработок. Если такие факторы имеются, то увеличиваются затраты энергии и труда на исследования, что приводит к росту силы  $F_{\text{ТС}}$  выше ее порогового значения  $F_{\text{ТСп}}$ , поскольку сила  $F_{\text{ТС}}$  определяется энергией и трудом исследователей. В результате растет надкритичность  $\Delta F_{\text{ТС}}$  и увеличивается амплитуда спиральной U-гармоники, поскольку рост интенсивности исследований приводит к росту публикаций, вовлеченных в эту спираль. В итоге, происходит значительный рост амплитуды U-спирали, увеличивается ее радиус и плотность.

При любых научных или технических исследованиях достигается такая глубина проработки любой научной или технической тематики, когда уже более не поступает новых научных и технических знаний в том объеме, который соответствовал участку роста зависимости амплитуды  $A$  спиральной U-гармоники от силы  $F_{\text{ТС}}$  или от надкритичности  $\Delta F_{\text{ТС}}$ . Такая выработка и истощение научной или технической тематики приводит к проявлениям стагнации или к стагнации в развитии U-гармоники. В соответствии с этим, в зависимостях амплитуды от силы  $F_{\text{ТС}}$  или от надкритичности  $\Delta F_{\text{ТС}}$  скорость роста амплитуды U-гармоники замедляется или падает до нуля. Соответственно этому кривая зависимостей  $A(F_{\text{ТС}})$  или  $A(\Delta F_{\text{ТС}})$  выходит на насыщение или, чаще всего, амплитуда  $A$  уменьшается. Следует отметить, что на этом этапе развития одновременно уменьшится и сила  $F_{\text{ТС}}$ , которая определяется энергией и трудом исследователей, интересы которых здесь смещаются от научных исследований к попыткам организовать малое инновационное производство. Проявляется устойчивая стагнация в развитии U-гармоники, что сопровождается участком плато  $A=\text{const}$  на кривых зависимостей  $A(F_{\text{ТС}})$  или  $A(\Delta F_{\text{ТС}})$  или, чаще всего на практике, падающим участком, когда количество публикаций уменьшается.

Любой опытный ученый-экспериментатор знает и понимает, что до практического воплощения его исследований какого-либо явления (физического,

химического, биотехнологического или других) нужно накопить необходимый багаж знаний об основных закономерностях исследуемого явления, четко понять и описать их в научных статьях. Только после этого можно переходить в практическую плоскость воплощения изученных закономерностей в новых структурах, приборах, установках или технологиях. В рыночной экономике такой переход к практическому использованию связан со стремлением ученого или научного коллектива защитить свою интеллектуальную собственность в виде патентов на изобретения или полезных моделей. Причем, переход к открытому патентованию неизбежно связан с риском раскрытия секретов разработки, поэтому на ранних стадиях практической коммерциализации разработок прибегают к защите в виде ноу-хау.

Однако после окончания ранней стадии коммерциализации неизбежно открытое патентование и его появление и получение первого патента знаменуют готовность ученого или научного коллектива перейти в сферу производства на основе своих научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР). В это время падает интерес коллектива к научным исследованиям, что выражается в снижении количества научных публикаций и больше сил и времени уделяется организации малого производства на основе научных закономерностей изученного явления. По-существу, этот момент появления первого патента и является порогом возбуждения следующей гармоники тройной спирали — В-гармоники (business). В это же время обычно научный коллектив создает малое инновационное предприятие (МИП), в котором производится вначале мелкосерийная инновационная продукция, а затем, в случае рыночного успеха, и средне-, и крупносерийная продукция.

По аналогии с моделью винтовой (спиральной) неустойчивости В-гармонике будет соответствовать волновое число  $m=2$  и более высокий порог возбуждения. Последнее обстоятельство очевидно практически — переход к патентованию и связанному с ним процессу производства происходит значительно позже накопления научных знаний и публикаций. Это соответствует тому, что в нашем рассмотрении первой возбуждается U-гармоника с наименьшим порогом возбуждения, а уже после ее развития и позже нее возбуждается В-спираль высокотехнологичного бизнеса, построенного на знаниях, полученных от U-спирали.

### Эмпирическая проверка и анализ

В настоящее время среди инновационного пояса малых предприятий высокотехнологичного бизнеса, окружающих большинство современных университетов, всегда можно выделить те или иные МИПы, предыстория которых хорошо известна. Обычно это МИПы, созданные на основе научных коллективов, давно, один-два десятка лет, работающих по основному научному направлению и имеющие в этом направлении достаточно большой научный задел. Обычно такие коллективы возглавляются опытным, заслуженным и авторитетным ученым, а знакомство с этим коллективом в качестве, например, очевидца,

известные из первых рук данные об их исследованиях, позволяют провести достаточно точный анализ. Развитый в настоящее время инструментарий электронных научных ресурсов, в первую очередь РИНЦ (elibrary.ru) и ФИПС (<http://www1.fips.ru>), а также и других ресурсов, позволяют провести соответствующий анализ развития избранного МИПа и соответствующей публикационной и патентной активности в необходимом ретроспективном периоде.

Нами был собран соответствующий материал по нескольким предприятиям инновационного пояса томских университетов, позволяющий выявить эмпирические закономерности, подтверждающие показанные ранее закономерности развития U- и B-спиралей в модели ТС.

Например, МИП ООО «РИД» (г. Томск), созданное в 2004 г. на базе разработок детекторов ионизирующих излучений и аппаратуры на их основе. Руководитель ООО «РИД», О. П. Толбанов, доктор физико-математических наук, профессор, имеет более 220 научных публикаций, включая более 14 патентов. Указанные детекторы построены на полупроводниковых арсенид-галлиевых (GaAs) чувствительных элементах, способных регистрировать единичные (квантовые) воздействия различной природы рентгеновского или гамма-диапазона и преобразующие их энергию в пригодный для технического преобразования сигнал — импульсы тока. Далее аналоговые сигналы импульсов тока переводятся в цифровой код, а код можно вывести на экран дисплея в виде цифрового изображения.

На рис. 1 показаны диаграммы публикационной и патентной активности по разработкам детекторов ионизирующих излучений и аппаратуры на их основе, выполненные О. П. Толбановым и под его руководством. В расчет брались публикации в авторитетных рецензируемых журналах и патенты, соответствующие развитию тематики GaAs-структур и детекторов ионизирующих излучений. Научные статьи были опубликованы в таких журналах, как «Известия высших учебных заведений. Физика; Физика и техника полупроводников»; «Nuclear instruments and methods in physics research»; «Journal of physics D: applied physics». Патентная активность отслеживалась по датам поданных заявок (и соответствующих им приоритетов) на полученные затем патенты, такой подход нам представляется наиболее соответствующим хронологии научных исследований.

Из рис. 1 наглядно виден постепенный рост числа публикаций от порога возбуждения U-спирали в 1992 г. до их максимума в 1997 г. с последующим постепенным спадом в 1998, 1999, 2000 гг. Эта эмпирическая картина развития U-спирали наглядно говорит об интересе к развитию научной тематики, накоплению научных знаний об интересующем явлении, изучению и описанию научных закономерностей. В 1999 г. следует защита докторской диссертации О. П. Толбанова [7], с чем связано снижение публикационной активности автора и его коллег. В то же время, как это видно из рис. 1, в 2000 г. появляется заявка на первый патент, после которой, с периодом в 2 года появляются заявки еще на 4 патента. Одновременно в 2004 г. создается первое малое инновационное предприятие ООО «РИД»

с символическим названием, а получение патентов на этом не заканчивается. При этом установлено, что большинство полученных патентов поддерживаются действующими до настоящего времени.

Аналогичные эмпирические закономерности проявляются на диаграммах публикационной и патентной активности других известных томских МИПов, например, связанных с исследованиями и разработкой глиоксаля и производства продукции на его основе.

Конечно, следует отметить, что публикационная активность научного коллектива под руководством профессора Толбанова была высокой и продолжалась и после 2000 г., и это естественно. Появлялись статьи по углублению изученного материала, по разработке новых приборов и аппаратуры на основе изученных детекторов и т. п. Но научный багаж по арсенидгаллиевым детекторам, достаточный для перехода в сферу бизнеса, был сформирован к 2000 г., что и показано на рис. 1, а остальные публикации не приведены, чтобы не загромождать рисунок и восприятие развития B-спирали.

В рассмотренном генезисе нам интересны следующие эмпирические закономерности, подтверждающие рассмотренные выше закономерности ТС:

- 1) заметный рост числа публикаций от первой пороговой публикации;
- 2) спад интереса к научным исследованиям и публикациям накануне открытия МИПа и развития высокотехнологичного бизнеса и программы коммерциализации НИОКР;
- 3) развитие B-спирали в виде появления патентов накануне открытия МИПа и заметной патентной активности на протяжении активного периода развития МИПа.

Кроме патентной активности, развитие B-спирали после 2000 г. и до настоящего времени подкрепляется сведениями из широкодоступных средств массовой информации о действующих промышленных разработках и технологиях на основе этой тематики: портативный рентгеновский аппарат в виде чемодана; переносной рентгеновский аппарат для оснащения машин «скорой» медпомощи, полярных станций, отдаленных

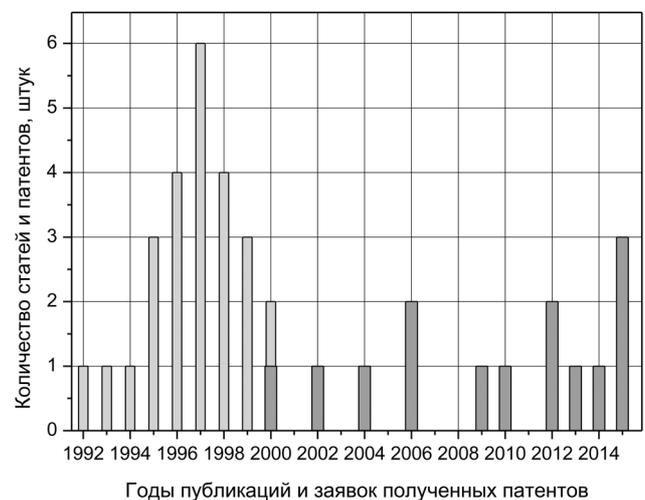


Рис. 1. Диаграммы публикационной и патентной активности

населенных пунктов, для спортивной и морской медицины, а также передвижной рентгеновский аппарат; малодозовый маммографический аппарат и другие.

Начиная от порога возбуждения амплитуда U-гармоники растет с ростом силы  $F_{TC}$ , вызванной энергией и трудом исследователей. Амплитуда U-гармоники растет с ростом силы  $F_{TC}$  и надкритичности  $\Delta F_{TC} = (F_{TC} - F_{TCn}) / F_{TCn}$  до тех пор, пока ее рост не ограничится высокой степенью изученности научной или технической проблемы. Тогда амплитуда U-спирали замедляет свой рост и стремится к насыщению или выходит на насыщение при значительном выходе за порог возбуждения и больших надкритичностях ( $\Delta F_{TC} \gg 1$ ). На этом последнем участке стагнации U-гармоники изменение силы  $F_{TC}$  более не приводит к увеличению объема новых знаний, новых научных публикаций и, соответственно, к росту амплитуды  $A$ . На этом этапе также возможно уменьшение самой силы  $F_{TC}$ .

На этом этапе развития модели «тройной спирали» создаются пороговые условия для появления второй спирали – В-гармоники (business). При достижении достаточно больших значений количества печатных работ, индексов цитирования и коцитирования в выбранной области научных исследований, возникают пороговые условия для перехода полученных знаний в область получения патентов и их практического использования, трансфера технологий, создания технологических фирм и предприятий. В-спираль усиливается с ростом количества технологий и производственных предприятий, использующих знания, созданные при развитии U-спирали.

## Выводы

Проведенный в настоящей работе для модели «тройной спирали» анализ развития основной U-гармоники (university) и В-гармоники (business) позволил выделить важные характерные закономерности поведения спиральных гармоник, общие для каждой из них:

- 1) установлен пороговый характер возбуждения этих важнейших составляющих;
- 2) установлено, что порог возбуждения U-гармоники ниже, чем порог возбуждения В-гармоники;
- 3) введено понятие надкритичности  $\Delta F_{TC}$ , характеризующее степень выхода за порог возбуждения спиральной гармоник;
- 4) показано, что с ростом надкритичности амплитуда гармоники увеличивается;
- 5) при больших надкритичностях  $\Delta F_{TC} \gg 1$  рост амплитуды гармоники последовательно замедляется, прекращается и происходит спад амплитуды.

Экспериментальным материалом для проверки положений теории о характере развития спиральных U-гармоники и В-гармоники могут служить первичные статистические данные о деятельности исследователей (количество публикаций, заявок на патенты, патентов). Обладая статистическим экспериментальным материалом по деятельности исследователей в определенном научно-техническом направлении и используя по-

ложения теории ТС можно эмпирически оценить и проследить развитие U-гармоники и В-гармоники.

МИПы, развитие которых мы исследовали (ООО «РИД», предприятия, связанные с производством глиоксаля и продукции на его основе и другие), являются типичными представителями университетской науки. Научные знания, лежащие в основе их новых технологий, добывались в университетских лабораториях. МИПы создавались по соответствующим федеральным законам в рамках университетов. Пример таких МИПов и очевидные связи между образованием, исследованиями и трансфером в высокотехнологичный бизнес и производство продуктов для конечного пользователя подчеркивают формирование модели университета 3.0. Это же, образование инновационного бизнеса на основе университетских научных знаний, полностью соответствует модели ТС, что означает важность хорошего понимания и владения инструментарием этой модели в формировании университетов для национальной технологической инициативы (НТИ).

### Список использованных источников

1. Д. А. Дробот, П. Н. Дробот, А. Ф. Уваров. Превалирующая роль университетов в модели «тройной спирали» // Инновации. 2011. С. 93-96.
2. L. Larouche. So, you wish to learn all about economics? (1984) New Benjamin Franklin House. 193 p.
3. L. Larouche. The Science of Physical Economy as the Platonic Epistemological Basis for All Branches of Human Knowledge // Executive Intelligence Review, Vol. 21, № 9-11, 1994.
4. П. Н. Дробот. Осцилляторный эффект и его применение в новых полупроводниковых приборах: монография. М-во образования и науки Российской Федерации, Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. Томск: Изд-во ТУСУР, 2015. 186 с.
5. Г. Ицковиц. «Тройная спираль». Университеты – предприятия – государство. Инновации в действии / Пер. с англ. под ред. А. Ф. Уварова. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2010. 238 с.
6. И. Л. Туккель, Н. А. Цветкова. О физических моделях процессов распространения инноваций в социально-экономической среде // Инновации. 2015. С. 30-34.
7. О. П. Толбанов. Арсенид галлия, компенсированный примесями с глубокими уровнями: Электронные свойства, структуры, применение: дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск, 1999. 335 с.

### Analysis of the main U-harmonic (university) and B-harmonic (business) in the model of the «triple helix»

**P. N. Drobot**, candidate of physical and mathematical sciences, docent,

**D. A. Drobot**, engineer, marketing specialist.

(Department of «Management Innovation», faculty of innovative technologies, Tomsk state university of control systems and radioelectronics)

The model of innovation development «triple helix» (TH) has gained popularity in innovation due to its visibility. However, it is difficult to use it for quantitative estimates, since it is very difficult to quantify it in the field of the triple interaction of spirals. Using analogies helps to understand the complexity of the triple helix. There is a phenomenon of spiral instability of a plasma of condensed matter. The patterns of this instability are characterized by the similarity of manifestations with the TC model and facilitate understanding of its mechanisms.

**Keywords:** «triple helix», innovation, spiral harmonics, excitation threshold, supercriticality.