



## Новый учебный курс

# «Принципы и технологии цифровой связи на основе программно-конфигурируемого радио» Фокин Г.А., СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, пр. Большевиков д.22, к. 1

СПбГУТ)))

### Обзор российских и зарубежных образовательных практик

Обзор зарубежных образовательных практик позволяет говорить о возникновении новой образовательной парадигмы в области МОП и ПКР:

- S. G. Bilén et al. Software-defined radio: a new paradigm for integrated curriculum delivery // IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 184-193, May 2014.
- M. Petrova, A. Achtzehn, P. Mähönen. System-oriented communications engineering curriculum: teaching design concepts with SDR platforms // IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 202-209, May 2014.
- R. W. Stewart et al. A low-cost desktop software defined radio design environment using MATLAB, simulink, and the RTL-SDR // IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 9, pp. 64-71, September 2015.
- A. M. Wyglinski, D. P. Orofino, M. N. Ettus and T. W. Rondeau. Revolutionizing software defined radio: case studies in hardware, software, and education // IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 1, pp. 68-75, January 2016.

Появление учебных пособий подтверждает академический потенциал данного направления:

- Wyglinski A. M., Pu D. Digital communication systems engineering with software-defined radio. – Artech House, 2013.
- Stewart R. W. et al. Software defined radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR. – Strathclyde Academic Media, 2015.
- Галкин В. А. Основы программно-конфигурируемого радио. – 2013.

ТАБЛИЦА. Программно-аппаратное обеспечение курсов в зарубежных вузах

| Институт                        | Категория обучающихся               | Продолжительность курса (неделя) | Виды занятий             | Программно-аппаратное обеспечение |
|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| THE PENN. STATE UNIVERSITY      | бакалавры старших курсов            | 15                               | 6 лр., дипломный проект  | NI-2920, LabVIEW                  |
| WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE | бакалавры старших курсов            | 10                               | 5 лр., курсовой проект   | USRP N210, Simulink               |
| VIRGINIA TECH                   | магистры                            | 15                               | 10 лр., курсовой проект  | USRP-2, GNU Radio                 |
| UNIVERSITY OF UTAH              | магистры                            | 13                               | 4 недели экспериментов   | USRP-2, MATLAB                    |
| INDIANA UNIVERSITY FORT WAYNE   | бакалавры младших курсов            | 15                               | 10 лр., дипломный проект | USRP, MATLAB, GNU Radio           |
| UNITED STATES NAVAL ACADEMY     | бакалавры старших курсов / магистры | 15                               | 2 лр., курсовой проект   | USRP, MATLAB, GNU Radio           |



- Широко используемыми в учебном процессе отладочными платами ПКР являются USRP Ettus Research стоимостью от 800\$, которым можно оборудовать компьютер преподавателя, и RTL-SDR стоимостью 20\$, которым можно оборудовать все компьютеры в аудитории.
- Анализ организации учебного процесса в зарубежных вузах показывает, что курс ориентирован на магистров, занимает один семестр и заканчивается курсовым или дипломным проектом. Занятия организуются в бригадах по два человека; каждая бригада «вооружена» отладочной платой ПКР и ПК с СПО.
- Кульминацией является апробация реализованного решения радиоэфире.

### Программно-аппаратное обеспечение в СПбГУТ

1. Аппаратное обеспечение: платы USRP Ettus B210, NI USRP-2932, RTL-SDR.
2. Программное обеспечение: СПО Matlab/Simulink (Mathworks), LabVIEW (National Instruments), GNURadio (free & open-source).
3. Контрольно-измерительные приборы: эмулятор радиоканала PXB N5106A, 2 векторных генератора N5182A MXG, 2 векторных анализатора N9010A EXA.

Таблица. Отладочные платы ПКР

| Параметр             | Ettus B210     | NI USRP-2932      | RTL-SDR           |
|----------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| Интерфейс с ПК       | USB 3.0        | GBE               | USB 2.0           |
| Физические каналы    | 2 TX, 2 RX     | 1 TX, 1 RX        | 1 RX              |
| Частотный диапазон   | 70 МГц – 6 ГГц | 400 МГц – 4.4 ГГц | 25 МГц – 1.75 ГГц |
| Ширины полосы канала | 56 МГц         | 20 МГц            | 2.8 МГц           |
| АЦП                  | 12 бит         | 16 бит            | 8 бит             |
| Стоимость            | \$1119         | \$ 4385           | \$ 20             |



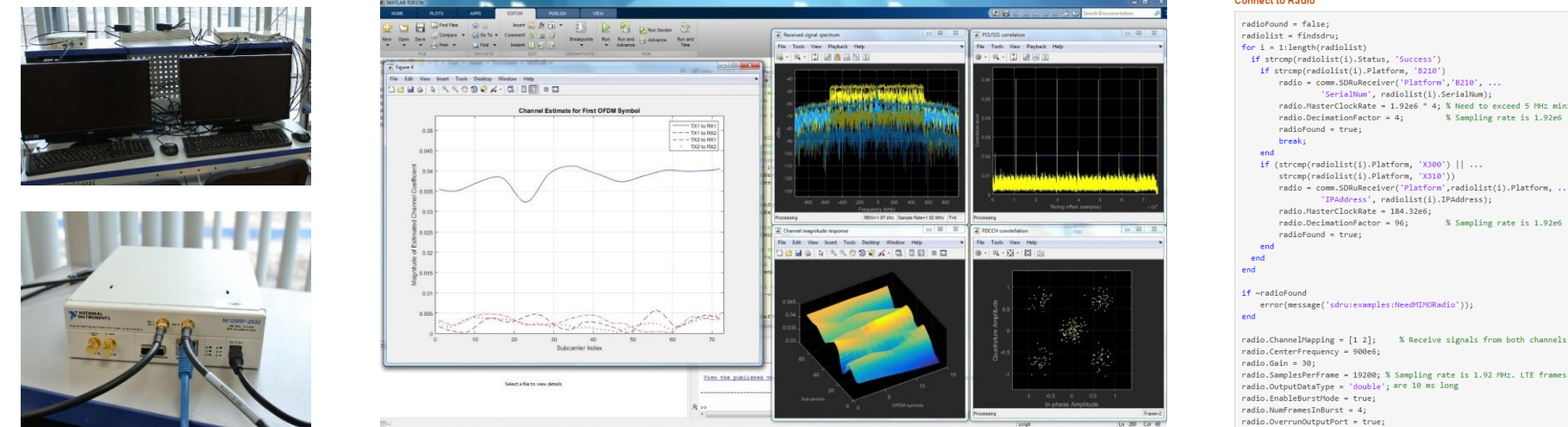
Рис. Отладочные платы ПКР (слева направо: Ettus B210, NI USRP-2932 и RTL-SDR)



### Методическая новизна, актуальность, востребованность

Методическая новизна курса заключается в использовании инновационной образовательной практики модельно-ориентированного проектирования (МОП) на основе программно-конфигурируемого радио (ПКР).

- МОП – это математический и визуальный метод решения задач, связанных с проектированием систем управления, обработки сигналов и связи. Подход МОП заключается в систематическом использовании моделей в течение процесса разработки для проектирования, анализа, симуляции, автоматической генерации кода и верификации, что позволяет существенно сократить время разработки. Построенные таким образом модели могут быть реализованы и верифицированы в специализированном программном обеспечении (СПО).



- ПКР (Software Defined Radio – SDR) есть радиооборудование, в котором все или большинство функций физического уровня выполняются в программном виде, а функции, выполняемые аппаратно, оперативно модифицируются.
- Использование МОП на основе ПКР позволяет реализовать навыки сквозного проектирования, разработки и верификации радиоэлектронной аппаратуры.
- Использование подхода МОП/ПКР вместе с экспериментальной апробацией способствует получению компетенций, которые нельзя было бы получить, используя только теорию и её закрепление на имитационных моделях.

### Методический задел и компетенции в СПбГУТ

1. Подготовлено 200 из 500 стр. учебного пособия по предлагаемому новому учебному курсу; разработано 40 % инструментария, куда входят типовые примеры в СПО Matlab/Simulink по изучаемым разделам и набор практико-ориентированных индивидуальных кейс-задач и курсовых работ.
2. Подготовлен слайд-конспект лекций и инструментарий для факультатива «Основы программно-конфигурируемого радио»; факультатив проводится ежегодно с 2015-го года.
3. Разработан опытный образец в рамках ФЦП по тематике МОП на основе ПКР

4. Опубликовано 9 научно-методических работ (3 SCOPUS/WOS, 2 ВАК, 4 РИНЦ) по тематике курса:

- СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИО. Фокин Г.А. В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2017). 2017. С. 271-276 (РИНЦ).
- ПРОЕКТ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИО». Воробьев О.В., Фокин Г.А. В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2016). С. 280-284 (РИНЦ).
- МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИО. Волгушев Д.Б., Киреев А.В., Фокин Г.А. В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2015). 2015. С. 50-53 (РИНЦ).
- ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА ОФМ-2 НА SDR ПЛАТФОРМЕ ETTUS B210 В СРЕДЕ GNU RADIO. Фокин Г.А., Лаврухин В.А., Волгушев Д.А., Киреев А.В., Информационные технологии моделирования и управления. 2016. Т. 99. № 3. С. 178-187 (РИНЦ).
- МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПКР. Фокин Г.А., Буланов Д.В., Волгушев Д.В., Вестник связи. 2015. № 6. С. 26-30 (ВАК).
- МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ SDR. Фокин Г.А., Лаврухин В.А., Волгушев Д.А., Киреев А.В. Системы управления и информационные технологии. 2015. Т. 60. № 2. С. 94-99 (ВАК).
- DESIGNING THE MIMO SDR-BASED LPD TRANSCIVER FOR LONG-RANGE ROBOT CONTROL APPLICATIONS. Fokin G., Volgushev D., Kireev A., Bulanov D., Lavrukhin V. В сборнике: International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops 6. Sep. C. 456-461 (SCOPUS/WOS).
- POSITIONING ACCURACY EXPERIMENTAL EVALUATION IN SDR-BASED MLAT WITH JOINT PROCESSING OF RANGE MEASUREMENTS. Mashkov G., Borisov E., Fokin G. В сборнике: 2016 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET) 2016. C. 7-12 (SCOPUS/WOS).
- EXPERIMENTAL VALIDATION OF MULTIPOINT JOINT PROCESSING OF RANGE MEASUREMENTS VIA SOFTWARE-DEFINED RADIO TESTBED. Mashkov G., Borisov E., Fokin G. В сборнике: International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 19, Opening Era of Smart Society. Sep. ICACT 2017 - Proceeding 2017. C. 979-984 (SCOPUS/WOS).



### Ожидаемые результаты

1. Разработан образовательный продукт – новый учебный курс «Принципы и технологии цифровой связи на основе программно-конфигурируемого радио» в рамках действующей магистерской программы, обеспечивающий подготовку высококвалифицированных востребованных специалистов: радиоинженеров, инженеров-электронщиков, разработчиков радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).
2. Внедрена в учебный процесс магистратуры (СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. ВАС им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, СПбПУ Петра Великого) инновационная образовательная технология – методология и инструментарий сквозного проектирования РЭА на основе ПКР с возможностью мгновенной апробации результатов работы в радиоэфире. В состав инструментария входят: типовые примеры в специальном программном обеспечении (СПО) Matlab/Simulink по изучаемым разделам и набор практико-ориентированных индивидуальных кейс-задач и курсовых работ.
3. Подготовлен тираж из 100 экземпляров учебного пособия по новому учебному курсу объемом 480 стр. А5 (30 п.л.).
4. Укреплено партнерство с предприятиями реального сектора экономики (АО «НИИ «БРИЗ», АО «НИИ телевидения», АО «Концерн «Океанприбор») в части подготовки практико-ориентированных индивидуальных магистерских диссертаций по актуальной тематике сквозного проектирования радиоэлектронной аппаратуры.