

**ВОЗДУШНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ  
СКАНЕРЫ RIEGL:  
ПУТИ РАЗВИТИЯ И  
ПРОБЛЕМЫ**

# RIEGL – АНАЛОГ MERCEDES-BENZ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ

Особенности RIEGL, роднящие его с данной маркой:

- **ЧРЕЗВЫЧАЙНАЯ** надежность и стабильность характеристики
- использование только **ПРОРАБОТАННЫХ РЕШЕНИЙ**.  
Пользователям не предлагается купить экспериментальные или «сырые» изделия.
- **НЕ НУЖНО ПЛАТИТЬ ЗА Maintenance** (то есть за поддержание прибора в работоспособном состоянии) – прибор просто находится в этом состоянии весь срок службы.
- Компания избегает заявлений о достижении экстремальных характеристик, которые впоследствии бы оказывались малоприменимы на практике (подобно Гейгер-лидарам).
- **Ключевые характеристики** – такие, как частота строк и большой угол охвата - достигаются **ОДНОВРЕМЕННО**, а не в режиме «или-или»

**Конкурирующие марки можно сравнить с Ferrari, АвтоВаз, Ока и т.п.**

# RIEGL выпускает ВСЕ виды сканеров

## ВОЗДУШНЫЕ

Airborne Scanning
RIEGL VQ-1560 II-S
RIEGL VQ-1560i-DW
RIEGL VQ-1560 II
RIEGL VQ-880-G II
RIEGL VQ-880-GH
RIEGL VQ-580 II
RIEGL VQ-480 II
RIEGL VP-1
RIEGL VPX-1
<b>NEW</b> RIEGL VQX-1 Wing Pod
RIEGL VQ-780 II-S
RIEGL VQ-780 II
RIEGL VUX-1LR <sup>22</sup>
RIEGL VQ-840-G

## МОБИЛЬНЫЕ

Mobile Scanning
RIEGL VMY-2
<b>NEW</b> RIEGL VMY-1
RIEGL VMX-2HA
RIEGL VMX-RAIL
RIEGL VMQ-1HA
RIEGL VMZ
RIEGL VUX-1HA <sup>22</sup>

## НАЗЕМНЫЕ

Terrestrial Scanning
RIEGL VZ-6000
RIEGL VZ-4000
RIEGL VZ-400i
<b>NEW</b> RIEGL VMR
RIEGL VZ-2000i

## БПЛА

Unmanned Scanning
RIEGL VUX-240
RIEGL VUX-120
RIEGL VQ-840-G
RiCOPTER
RiCOPTER-M
BathyCopter
RiCOPTER with VUX-SYS
RIEGL VUX-1UAV <sup>22</sup>
RIEGL miniVUX-1UAV
RIEGL miniVUX-2UAV
RIEGL miniVUX-3UAV
<b>NEW</b> RIEGL miniVUX-1LR
RIEGL miniVUX-1DL

## ПРОЧИЕ

Industrial Scanning
RIEGL VZ-200
RIEGL PH-4000/6000-SRH
RIEGL PH-400(i)/2000(i)
PH-VUX

**В список не включены модели, которые сняты с производства, но при этом продолжают работать.**



## Пригодность различных систем для использования на тех или иных носителях.

	БПЛА (коптеры, самолеты, вертолеты)			СЛА (мотодельтапланы, мотопарапланы, автожиры)	Легкие самолеты и вертолеты (2-6 человек)	Средние самолеты и вертолеты (более 6 человек, скорость до 300 км/ч) - Ми8, Ан2, Cessna 3xx, L410	Тяжелые и скоростные самолеты (Cessna 4xx, Beechcraft KingAir, Ан-30, проч.) со скоростью 300- 600 км/ч
	10--15	15-30	30-150				
<b>Масса, кг</b>				150-500	500-3000	3000-12000	5000-50000
miniVUX1 UAV	Green	Light Green	Yellow	Red	Red	Red	Red
miniVUX2 UAV	Green	Light Green	Light Green	Red	Red	Red	Red
<b>miniVUX3 UAV</b>	Green	Light Green	Light Green	Red	Red	Red	Red
miniVUX-DL	Green	Light Green	Yellow	Red	Red	Red	Red
VUX1-UAV	Green	Green	Green	Light Green	Red	Red	Red
VUX1-LR	Yellow	Green	Green	Green	Light Green	Red	Red
<b>VUX120</b>	Yellow	Green	Green	Green	Light Green	Red	Red
VUX240	Yellow	Green	Green	Green	Green	Light Green	Red
VQ480ii	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Yellow
VQ580ii	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Yellow
VQ780i	Red	Red	Yellow	Light Green	Green	Green	Light Green
VQ1560i	Red	Red	Red	Yellow	Green	Green	Green
VQ1560i DW	Red	Red	Red	Yellow	Green	Green	Green
VQ780ii	Red	Red	Red	Light Green	Green	Green	Green
VQ1560ii	Red	Red	Red	Yellow	Green	Green	Green
<b>VQ1560ii-S</b>	Red	Red	Red	Yellow	Green	Green	Green

# Развитие систем RIEGL для воздушного сканирования сейчас движется по 4-м основным направлениям

Системы для  
пилотируемой  
авиации

Системы для  
БПЛА средней  
массы или СЛА

Системы для  
БПЛА легкого  
класса

Батиметрические сканеры



**1560ii-S**  
5500 м, 4000 кгЦ



**1560i-DW,**  
2400 м, 2000 кгЦ



**780ii-S**  
5500 м, 2000 кгЦ



**580ii,**  
2100 м, 2000 кгЦ



**480ii,**  
1900 м, 2000 кгЦ



**VUX 240**  
1400 м, 1800 кгЦ



**VUX1 LR**  
1845 м, 1500 кгЦ

# Развитие систем RIEGL для воздушного сканирования сейчас движется по 4-м основным направлениям

**Системы для пилотируемой авиации**

**Системы для БПЛА средней массы или СЛА**

**Системы для БПЛА легкого класса**

**Батиметрические сканеры**



**1560-ii S**

## 1560ii-S

До появления RIEGL VQ1560ii-S лидерство в производительности принадлежало RIEGL VQ1560ii. Обе системы обладают идентичным форм-фактором, традиционным для топовых систем RIEGL уже на протяжении 5 лет (с момента выхода VQ1560), и внешне не отличаются ничем. Внутреннее их содержание имеет гораздо больше отличий.

За счет поддержки не 35, а 45 лазерных импульсов, одновременно находящихся в воздухе, а также за счет доработки блока приема сигнала в модели VQ1560ii-S удалось на 20% поднять максимальную высоту работы сканера на максимальной частоте. Так, у его предшественника - VQ1560ii (при одинаковых условиях) максимальная частота работы составляет около 1500 м, а у VQ1560ii-S – 1800 м. На остальных высотах также наблюдается устойчиво большее количество точек сканирования (в секунду) – также примерно на 20%. Это – важный шаг на пути к дальнейшему снижению себестоимости высокоплотных данных, потребности в которых растут каждый год.

Данная система комплектуется 150-мегапиксельной среднеформатной камерой, может быть укомплектован и дополнительным сенсором (тепловизор), а также снабжается инерциальной системой AP60, обладающей точностью измерения углов до 0.0025 градуса и позволяющей работать с больших высот – вплоть до 5500 метров.

RIEGL VQ1560ii и VQ1560ii-S имеют одинаковое расположение лазеров – с наклоном от надира плоскостей сканирования вперед и назад, что очень важно при съемках городов (чтобы были стены зданий, а мертвые зоны были сведены к минимуму). Форма корпуса, оптимизированная для установки в круглом люке среднего или тяжелого носителя на гиropлатформе, осталась также неизменной.

До высоты 500 м RIEGL VQ1560ii-S обладает такой же, как RIEGL VQ1560ii производительностью. Такой же – значит фантастической, и не имеющей на ноябрь 2020 г. конкурентов. Так, при работе с высоты в 900 м на Ми8 система покажет плотность около 50 точек на 1 м<sup>2</sup> (1:500), с высоты в 2000 м – «всего лишь» 18 т/м<sup>2</sup>, а при высоте полета 500 м – 100 точек на 1 м<sup>2</sup>.

Огромное количество строк сканирования в секунду – до 600 – позволяет успешно применять данную систему на очень скоростных носителях. Так, при работе с носителя типа Beachcraft KingAir (с крейсерской скоростью около 500 км/ч) с высоты 2000 м охват достигнет 2200 м, плотность точек – более 18 т/м<sup>2</sup> (1:500), размер пиксела – 13 см (1:1000), а производительность – 1100 км<sup>2</sup> в час, или 5500 км<sup>2</sup> за 5-часовой полет<sup>2</sup>.

Подобные возможности позволяют за 1 съемочный сезон (скажем, 50 съемочных дней) осуществить съемку 275 000 км<sup>2</sup> территории, совершая по одному полету в день.

# Развитие систем RIEGL для воздушного сканирования сейчас движется по 4-м основным направлениям

**Системы для пилотируемой авиации**

**Системы для БПЛА средней массы или СЛА**

**Системы для БПЛА легкого класса**

**Батиметрические сканеры**



**1560i-DW**

**RIEGL VQ1560i-DW.** Данная система весьма необычна: обладая форм-фактором ее предшественника – RIEGL VQ1560i – и такой же скоростью работы (2000 000 точек в секунду), система оснащена лазерами с разной длиной волны – ИК (1064 нм) и зеленым лазером (532 нм). Сканер комплектуется 100-мегапиксельной среднеформатной камерой, может быть укомплектован и дополнительным сенсором (тепловизор), а также снабжается инерциальной системой AP60, обладающей точностью измерения углов до 0.0025 градуса и позволяющей работать с больших высот – вплоть до 4700 метров.

Характеристики RIEGL VQ1560i-DW близки к таковым у RIEGL VQ1560i в части скорости съемки до высоты 2200 м. Аналогично и расположение лазеров – с наклоном от надира плоскостей сканирования вперед и назад, что очень важно при съемках городов. **Принципиальным же отличием между ними является использование VQ1560i-DW лазеров с разной длиной волны.** Это позволяет получить для каждой точки отражений свои, уникальные характеристики в разных спектральных диапазонах. Фактически, мы получим данные как на фотографии, но освещенные не солнечным, а лазерным освещением. Из этой особенности следует – солнце для съемки, пригодной для дешифрирования не только по форме, но и по спектральным характеристикам, не нужно. Можно снимать ночью, без камеры, и видеть различия между объектами по их отражательной способности. При наличии тепловизионных изображений, мы получаем возможность сформировать и третий канал (тепловой), также не нуждающийся в солнечном свете.

Итогом подобного решения являются уникальные возможности по съемке ночью с получением весьма полного набора данных. Подобное решение в первую очередь может и должно быть интересно представителям силовых и охранных структур, правоохранительных органов и служб безопасности коммерческих и государственных предприятий.

**Наличие зеленого канала, по предварительным данным, также позволяет картографировать мелководные (до 1.5 м) участки рек и озер, получая картину глубин без промеров и наземных работ, что также может быть крайне важно для вышеперечисленных пользователей.**

До высоты 2200 м RIEGL VQ1560i-DW обладает такой же, как RIEGL VQ1560i производительностью. Так, при работе с высоты в 1000 м на Ми8 система покажет плотность около 20 точек на 1 м<sup>2</sup> (1:500), с высоты в 2000 м – «всего лишь» 7 т/м<sup>2</sup> (1:1000 или 1:500 для сельских территорий), а при высоте полета 350 м – 65 точек на 1 м<sup>2</sup>.

# Развитие систем RIEGL для воздушного сканирования сейчас движется по 4-м основным направлениям

**Системы для пилотируемой авиации**

**Системы для БПЛА средней массы или СЛА**

**Системы для БПЛА легкого класса**

**Батиметрические сканеры**

	580ii	480ii	VUX240
Длина волны	1064 нм	1550 нм	1550 нм
Минимальная безопасная высота работы (NOHD)	30	0.5	0
Оптимальный для производительности диапазон высот (высоты, на которых падение от максимальной скорости не более 50%), м	30-630	20-530	0-450
Дивергенция луча, м/рад	0,25	0.35	0.35
Потребляемая мощность (без/с обогревом), ватт	70/230	100/250	65
Точность измерения дальности, мм	20	20	15
Масса, кг	9,9	10.6	3,75
Температура (эксплуатационная), С	-5 - +40	-5 - +40	-5 - +40
Класс безопасности лазера	3В	3R	1
Максимальная высота полета	1600	1300	1000

**Таким образом, первая общая черта систем 580ii, 480ii, VUX240 – высочайшая производительность.**

Исходя из технических возможностей этих трех систем, вроде бы четко прослеживается их «промежуточная» роль в линейке. Однако на практике ситуация для 580ii, 480ii, VUX240 выглядит гораздо привлекательнее в том случае, если речь идет о России.

Проекты в РФ традиционно в части лазерного сканирования традиционно реализуются наполовину летом (недолгое, холодное, с достаточно частой облачностью на небольших высотах) и осенью (с традиционно плохой погодой и затяжными периодами сплошной низкой облачности). Проектов, выполняемых в условиях степного и пустынного климата, крайне мало. Из-за этого техническая возможность любой системы, способной работать на высоте более 1200 м, на практике может быть реализована весьма редко – по погодным условиям. В значительном количестве проектов – обследование линейных объектов и проектирование – большая ширина полосы съемки просто не нужна. Статистика полетов показывает, что лазерное сканирование с высоты более 1500 м практически не применяется или применяется в качестве дополнения к классической АФС для быстрого создания ортофото.

Однако 580ii, 480ii, VUX240 адаптированы именно для работы с небольших высот. Их угол охвата – 75 градусов – позволяет им покрывать полосу, в 1.5 раза шире высоты полета. Таким образом, при высоте облачности в 650-700 м 580ii обеспечит такую же ширину охвата, как и 1560i при работе с 950-1000 м. Но если в день съемки облака будут на 700 м, то 580ii эффективно справится с задачей, в то время как 1560i либо не поднимется в воздух, либо потребует в полтора раза большего летного времени.



# Развитие систем RIEGL для воздушного сканирования сейчас движется по 4-м основным направлениям

## Системы для пилотируемой авиации

## Системы для БПЛА средней массы или СЛА

## Системы для БПЛА легкого класса

## Батиметрические сканеры

**Еще одна черта 580ii, 480ii, VUX240 – большая погодная универсальность.**

Третья черта – промежуточный вес, габариты и стоимость: 580ii, 480ii, VUX240 занимают промежуточное положение в линейке в том числе и по этим характеристикам. Однако они довольно разные – так, VUX240 весит лишь 3.75 кг (без ИНС), то есть всего на 250 граммов тяжелее VUX1LR, в то время как VQ58ii весит 9.9 кг (без ИНС). Для сравнения – VQ780i весит более 20 кг. В целом, это весьма легкие и компактные приборы, пригодные для установки не только на полноценные самолеты, но и на СЛА и БПЛА среднего класса.

На этом общие особенности систем не заканчиваются.

- широкое поле зрения и все чаще возникающие требования заказчиков, требующих не только надирной, но и перспективной фотосъемки учтены в интерфейсах сканеров: 480ii и 580ii допускают подключение до 5 камер, VUX240 – до 4 камер.

- все сканеры по желанию заказчика могут быть оснащены инерциальной системой, для которой в конструкции уже подготовлено место – APX20 – на тот случай, если планируется работа с БПЛА (то есть с малых высот, что не требует значительной угловой точности). В случае, если предполагается работа с пилотируемых носителей на высотах более 500 м, конечно, потребуется более крупная и дорогая ИНС, монтируемая отдельно.

- все сканеры обрабатывают «на лету» исходные сигналы, и не нуждаются в наземной обработке с целью классификации точек из разных отражений сырых данных. Это позволяет хранить меньший объем данных, для чего предназначен уже встроенный в корпус сканера твердотельный накопитель на 240 гигабайт данных. Если этого недостаточно – возможно сохранение на внешние накопители (например, ноутбук).

- все сканеры обладают очень большим количеством линий (строк сканирования) в секунду. 580ii, 480ii – 300 линий в секунду, VUX240 – 400 линий в секунду. Так, при работе на скорости 50 метров в секунду это позволяет обеспечить абсолютно равномерное распределение точек с плотностями: 36 т/м<sup>2</sup> для 580ii, 480ii, и 64 т/м<sup>2</sup> – для VUX240. Для скорости 100 м/с это будет соответственно: 9 т/м<sup>2</sup> для 580ii, 480ii, и 16 т/м<sup>2</sup> – для VUX240. Таким образом, несмотря на малый вес и габариты, изделия могут эксплуатироваться с весьма скоростных носителей.

- все сканеры не нуждаются в больших люках для установки (конечно, если не используется гиросплатформа). Это позволяет использовать их на обычных носителях без вмешательства в силовой набор летательного аппарата.



VUX 240

480ii

580ii

# Развитие систем RIEGL для воздушного сканирования сейчас движется по 4-м основным направлениям

Системы для  
пилотируемой  
авиации



**VUX 1 UAV**  
(1415 м)  
(3.5 кг, 1200 кГц)



**VUX 1 LR**  
(1845 м)  
(3.5 кг, 1500 кГц)

**Системы для  
БПЛА средней  
массы или СЛА**

Системы для  
БПЛА легкого  
класса

Батиметрические сканеры



**VUX 240**  
(1400 м)  
(4.1 кг, 1800 кГц)



**VUX 120**  
(900 м)  
(2 кг, 1800 кГц)

# Развитие систем RIEGL для воздушного сканирования сейчас движется по 4-м основным направлениям

Системы для  
пилотируемой  
авиации

Системы для  
БПЛА средней  
массы или СЛА

**Системы для  
БПЛА легкого  
класса**

Батиметричес-  
кие сканеры



**miniVUX1**  
(200 м)  
(1.55 кг, 100 кГц)



**miniVUX2**  
(200 м)  
(1.55 кг, 200 кГц)



**miniVUX3**  
(200 м)  
(1.55 кг, 300 кГц)



**miniVUX1 LR**  
(300-500 м)  
(1.55 кг, 100 кГц)



**miniVUX1-DL**  
(180-200 м)  
(2.5 кг, 100 кГц)

# Развитие систем RIEGL для воздушного сканирования сейчас движется по 4-м основным направлениям

Системы для  
пилотируемой  
авиации

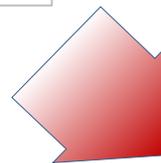
Системы для  
БПЛА средней  
массы или СЛА

Системы для  
БПЛА легкого  
класса

**Батиметрические  
сканеры**



**Профилограф BDF-1  
(75/200 м)  
(12 кг, 200+100 кГц)**



**840 G  
(75/200 м)  
(12 кг, 200+100 кГц)**

Measurement Rate <sup>5)</sup>	200 kHz	100 kHz	50 kHz	5 kHz <sup>8)</sup>	0.5 kHz <sup>8)</sup>
Max. Water Depth Penetration in Secchi Depths <sup>6) 7)</sup> (Flight altitude 75m above water level)	1.7	1.8	2.0	2.2	2.5

# Каковы тренды?

СКОРОСТЬ  
И ВЫСОТА



**Q560, 2005 г.**  
**(1500 м, 240 кГц)**



**Q780, 2012 г.**  
**(3500 м, 400 кГц)**

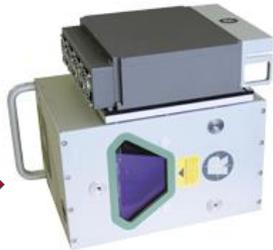


**1560, 2013 г.**  
**(3900 м, 800 кГц)**

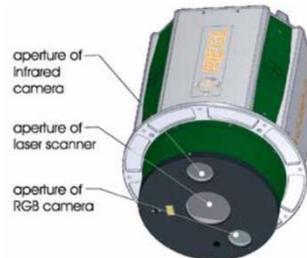


**1560-ii S, 2020 г.**  
**(5500 м, 4000 кГц)**

ГЛУБИНА  
И ВЫСОТА



**VQ820, 2011 г.**  
**Глубина 1 секки**  
**(600 м, 520 кГц)**



**VQ880, 2014 г.**  
**Глубина 1.5 секки**  
**(600 м, 550 кГц)**



**VQ880 GH, 2017 г.**  
**Глубина 1.5 секки**  
**(600 м, 550 кГц),**  
**3000 м - суша**



**VQ880-ii, 2018 г.**  
**Глубина 1.5 секки**  
**(600 м, 550 кГц)**  
**3000 м - суша**

МАССА



**Q160, 2011**  
**(200 м)**  
**(4.6 кг, 40 кГц)**



**VQ480u, 2013**  
**(1200 м)**  
**(7.5 кг, 550 кГц)**



**VUX 1 UAV, 2014**  
**(1415 м)**  
**(3.5 кг, 1200 кГц)**



**miniVUX3, 2020**  
**(200 м)**  
**(1.55 кг, 300 кГц)**

## Каковы принципы развития?

**Использование только Time-of-Flight измерений  
+ высокая точность измерения дальности на всех  
дистанциях (3-5 мм для разных моделей)  
- Это сложно сделать, но это получается**

**Узкий луч: 0.4-0.5 мрад для БПЛА, до 0.17 у тяжелых  
+ высокая способность проникать сквозь кроны при  
одновременно большой дальности работы  
- это сложно сделать в принципе, но это удалось  
- это сложно сделать безопасным, но это удалось**

**Главное – не число точек, а их равномерность и  
стабильность покрытия.**

**Все характеристики должны достигаться  
одновременно, а не одни за счет других (угол съемки,  
максимальное число строк съемки, предельная высота  
работы на максимальной частоте.**

**Максимум МТА зон (в настоящий момент – до 45) для  
достижения максимальной частоты на всех высотах**

# Технологии, которые могли бы использоваться. Спасибо, нет.

<b>Гейгер-лидар (single photon)</b>	<b>Высокая шумность и проблемы с пробиванием растительности</b>	<b>Leica SPL100</b>
<b>TOF-камеры и FLASH-LIDAR</b>	<b>Низкая дальность, низкая точность определения дистанции, проблемы с пробитием растительности</b>	<b>Advanced Scientific Concepts</b>
<b>Фазовые измерения</b>	<b>Падение точности с ростом дальности, проблемы с пробитием растительности</b>	<b>Ряд решений</b>
<b>Много дешевых сенсоров</b>	<b>Низкая точность измерений дальности, сложности калибровки большого количества низкокачественных дальномеров</b>	<b>Velodyne VLP16</b>
<b>Много статичных световодов</b>	<b>Сложность и громоздкость конструкции, невозможность регулировки параметров строки съемки</b>	<b>ALST Falcon III</b>
<b>Синусоидальный режим (строки)</b>	<b>Равномерность распределения точек приносится в жертву в угоду маркетинговым уловкам</b>	<b>Leica ALS 80</b>

# Стратегические проблемы развития: куда двигаться дальше

**Проблема ограниченной точности ИНС** – точность имеющихся ИНС с разумной стоимостью и габаритами недостаточна для работы с высот более 6000 м

**Проблема ограничений на дальность/глубину сканирования** - юридический момент, который способен перевести изделие в разряд закрытых или двойного назначения

**Конечность и исчерпанность точностей ГНСС** – никакие новые запуски не позволят увеличить точность принципиальным образом, оставив ее на субдециметровом уровне (для недорогих решений)

**Тепловой барьер** – определяется мощностью лазера, рост которой со скоростью можно ограничить только ростом чувствительности приемника)

**Ограниченность высоты разрешением камер** (точнее их оптики) – на больших высотах разрешение не соответствует точности съемки

**Сканеры очень редко ломаются, и при этом даже модели 5-6 летней давности многих полностью удовлетворяют своей скоростью и качеством съемки.**

**Это начинает становиться проблемой...**