



О требованиях к инженерно-геодезическим изысканиям в эпоху цифровых технологий

Сообщение на конференции «Цифровая реальность: космические и пространственные данные, технологии обработки», Иркутск, 6-9 сентября 2021г.

ЗАЛУЦКИЙ
Вячеслав Трофимович
Главный специалист ОИЗ

ЯРМОЛЮК
Павел Андреевич
Зам. нач. ОИЗ по
топографии

Принципиальным аспектом производства ИГДИ являются требования к точности топографических планов, которые оказываются основным результатом изысканий, представленным в традиционной бумажной, либо цифровой формах. Эти требования в зависимости от назначения и размеров объекта изысканий определяют выбор технологии и средств сбора геопространственных данных, формируют набор характеристик контроля качества полевых и финальных результатов съемочных работ.

Основная цель сообщения – рассмотреть особенности, а также достоинства и недостатки действующей системы регламентов точности топографических съемок в условиях расширения использования цифровых методов и средств съемочных работ.



Логическими скобками рассмотрения являются требования к точности крупномасштабных топографических съемок (1:200-1:5000), выполняемых в результате ИГДИ для целей проектирования ремонтов и реконструкции железных дорог общего пользования.



1. **К 2015г. ИГДИ железнодорожного назначения стали totally цифровыми (координатными):**
 - Для выполнения топографических съемок стали преимущественно использоваться средства «спутниковой координатизации» в виде геодезических приемников сигналов ГНСС (ГЛОНАСС, GPS и Beidou). Электронная тахеометрия и цифровое нивелирование стали уступать первенство спутниковым средствам.
 - Стали широко использоваться средства лазерного сканирования (статического, мобильного), а также цифровой перспективной фото- и видео съемки.
2. **К 2019г. парк цифровых методов ИГДИ существенно расширился:**
 - Пришло время цифровой аэросъемки с БПЛА.
 - В железнодорожных изысканиях появились требования ТЗ обеспечивать BIM-проектирование данными по ЦММ/ЦМР.
 - Программные средства обработки измерений стали сугубо САД и ГИС-ориентированными на обработку координатной информации.
3. **Практика геодезического обеспечения грузонапряженных (Транссиб + Восточный полигон) и скоростных ж.д.(Москва-С.Петербург- Бусловская, Москва-Казань) требует расширения линейки масштабов и характеристик точности съемки ж.-д. инфраструктуры:**
 - Съемка верхнего строения пути для создания цифровых планов и профиля ж.д. пути (**ВСН 208-89 требует точности 2-6см**).
 - Высоточные съемочные работы для создания цифровых моделей пути (ЦМП).(**Нормативы ОАО «РЖД» требуют точности 1см**).

Все это привело нас к пониманию необходимости применения координатных мер точности съемочных работ.

Неопределенность составляющих положения	Неопределенность вектора пространственного положения
Стандартная неопределенность	
$u_0(H) = \sigma_0(H)$ - СКП H ; $u_0(x) = \sigma_0(x)$ - СКП x ; $u_0(y) = \sigma_0(y)$ - СКП y ; $u_0(z) = \sigma_0(z)$ - СКП z . средние квадратические погрешности координат.	v_1 - СПП 1D *) средняя погрешность одномерного вектора положения; v_2 - СПП 2D *) средняя погрешность планового(планарного) вектора положения; v_3 - СПП 3D *) средняя погрешность трехмерного вектора положения. $u_0(H) = \sigma_0(H)$ - СКП H ; $u_0(S) = \sigma_0(S) = M$ -СКП планового положения, где $S = (\delta x, \delta y)^T$; $u_0(R) = \sigma_0(R) = M_3$ -СКП трехмерного положения, где $R = (\delta x, \delta y, \delta H)^T$, или $R = (\delta x, \delta y, \delta z)^T$;
Расширенная неопределенность	
$U_p(H) = M_{п, H}$; $U_p(x) = M_{п, x}$; $U_p(y) = M_{п, y}$; $U_p(z) = M_{п, z}$; предельные значения СКП координат.	$U_p(H) = M_{п, H}$; $U_p(S) = M_{п, S}$; $U_p(R) = M_{п, R}$; предельные СКП высотного, планового и трехмерного положения.

*) - данная характеристика является функцией координат и по ГОСТ 34100.3-2017 не может рассматриваться в качестве меры неопределенности. Однако она до настоящего времени используется в качестве меры точности топографических планов, напрямую зависящей от масштаба(точности масштаба) плана. **По этой причине величины v можно условно назвать «картометрической» мерой точности в противовес рассматриваемым координатным мерам.**

Значение расширенной неопределенности вычисляется по формуле

$$U_p(\varepsilon) = k * u_0(\varepsilon),$$

где коэффициент охвата $k = t_p(\nu_D)$ является функцией уровня доверительной вероятности P , размерности случайного вектора D и числа степеней свободы ν . По ГОСТ 34100.3 уровень доверительной вероятности должен быть **$P=95\%$** .

Значения коэффициента охвата расширенной неопределенности

Доверительная вероятность P, %	<i>t</i>		
	1D	2D	3D
68(1D), 63(2D), 61(3D)	1.0	1.41	1.73
90	1.64	2.15	2.50
95	1.96	2.45	2.70
99	2.58	3.03	3.37

Error theory as applied to mapping, charting and geodesy//DMA Technical Report No.8400.1 –USA Defense Mapping Agency, 1991,- 109pp.

Engineering and design– NAVSTAR Global Positioning System Surveying: EM 1110-1-1003 1 Jul 03 1996/ Chapter 4
Absolute Point Positioning Determination Concepts, Errors, and Accuracies.

Формулы связи мер точности для топографических планов (гибридная триада 2D+1D):¶

а) Планарное положение¶

$$M = k_{СКП} \nu_2(T) = k_{СКП} T \cdot 10^{-3} \cdot M_C (м); \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (1)$$

$$M_{\Pi} = t_{P=95}(\nu_2) \cdot M; \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (2)$$

$$M_{\Pi,xy} = \frac{M_{\Pi}}{\sqrt{2}} = \frac{t_{P=95}(\nu_2)}{\sqrt{2}} \cdot M; \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (3)$$

$$k_{СКП} = 1.41¶$$

б) Высотное положение¶

$$M_H = k_{СКП} \nu_1(h_p); \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (4)$$

$$M_{\Pi,H} = t_{P=95}(\nu_1) \cdot M_H; \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (5)$$

$$k_{СКП} = 1.25¶$$

Здесь дополнительно использованы следующие обозначения:

M_C – знаменатель масштаба топографической съемки;

$\nu_2(T)$ – регламентное значение средней погрешности положения пункта съёмочного обоснования, или съёмочного пикета в функции масштаба топографической съемки ;

T – требование к точности в мм(см. ниже слайд 8);

$\nu_1(h_p)$ – регламентное значение средней погрешности высотного положения пункта съёмочного обоснования, или съёмочного пикета в функции высоты сечения рельефа h_p .

Анализ «новых» нормативов точности топографических съемок (1)

«Новые» нормативы, регламентирующие точность топографических съемок при выполнении ИГДИ:

- СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. (введен в действие 1.07.2013);
- СП 47.13330.2016 (принят к исполнению 1.07.2017) ;
- СП 317.1325800.2017 Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ.(введен в действие 23.06.2018);
- ГОСТ 32869-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий (введен в действие 1.07.2015).

«Старые» нормативы (ГКИНП -02-033-82, Руководство... 1976, ГКИНП-02-262-02)	«Новые» нормативы
Используются только «картометрические» меры точности	Одновременно используются «картометрические» и «координатные» меры точности
Основная мера точности - СПП планового и высотного положения пунктов ПВО и пикетов	СПП для пунктов ПВО и пикетов и СКП планового и высотного положения(??) только пунктов ПВО. ГОСТ 32869 вводит требования для «точной» и «среднеточной» съемки
Формирование допусков для уровня доверительной вероятности 90%	Формирование допусков для уровня доверительной вероятности 95%
Традиционная линейка масштабов- 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000	Расширенная линейка масштабов - 1:200 , 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000

Анализ «новых» нормативов точности топографических съемок (2)

«Картометрические» меры точности по СП 47.13330

Нормативные значения средних погрешностей планового и высотного положения точек съемочного обоснования и съемочных пикетов

Мера точности	Точки съемочного обоснования		Съемочные пикеты	
	Открытая местность	Закрытая растительностью местность	Открытая местность	Закрытая растительностью местность
Средняя погрешность планового положения $\nu_2(T)$ в масштабе топографического плана, мм	0,1	0,15	0,5	0,7
Средняя погрешность высотного положения $\nu_1(h_p)$, м	$\leq 0,04^*$	$\leq 0,16 \cdot h_p^*$	$\leq 0,25 \cdot h_p$	$\leq 0,33 \cdot h_p$

*) Величины СПП получены переходом от нормативных СКП, заданных в координатной форме (см. следующий слайд).

$\nu_1(h_p) = \text{СКП}_H / 1,25$; $\text{СКП}_H = 5\text{см}$; -открытая равнинная местность.

$\nu_1(h_p) = \text{СКП}_H / 1,25$; $\text{СКП}_H = 1/5 \cdot h_p$ - закрытая растительностью и горная местность.

Анализ «новых» нормативов точности топографических съемок (3)

«Координатные» меры точности: а) планарные составляющие

Таблица Г.4

Масштаб топографической съемки для создания инженерно-топографических планов и ИЦММ	СКП в определении координат пунктов (точек) съемочной геодезической сети относительно пунктов опорной геодезической сети, м, не более	
	Застроенная территория, открытая местность на незастроенной территории	Незастроенная территория, закрытая растительностью
1:5000	0,50	0,75
1:2000	0,25	0,35
1:1000	0,10	0,15
1:500	0,08	0,10
1:200	0,05	-

Примечания

1 Предельно допустимые погрешности не должны превышать удвоенных значений СКП. При техническом контроле невязки по редуцированным ~~не уравненным~~ измерениям при развитии съемочной геодезической сети теодолитными ходами не должны превышать удвоенных предельно допустимых погрешностей.

2 СКП определения высот пунктов (точек) съемочной геодезической сети относительно пунктов ближайших реперов (марок) опорной высотной сети не должны превышать на равнинной местности 0,05 м и в горных и предгорных районах 1/5 высоты сечения рельефа топографической съемки.

Только для пунктов ПВО. Для съемочных пикетов регламент отсутствует. Для пикетов будет воспроизведено по ф.(1)-(3)ниже.

Оказывается это Мп,ху, тогда как для высот это Мн.

Этот комментарий неуместен для планарных координат.

б) Воспроизведение по ф. (4)-(5)«координатного» регламента точности высотной составляющей по «картометрическому» для 1/10 от h_p и 1/6 от h_p .

h_p , м	М _{п,н} для пунктов ПВО, м		М _{п,н} для съемочных пикетов, м	
	Равнинная местность	Горные и предгорные р-ны	Равнинная местность	Горные и предгорные р-ны
0,25	0,10/0,06	-	0,15	-
0,5	0,10/0,12	-	0,30	-
1	0,10/0,24	0,40	0,60	0,8
2	-	0,80	-	1,6
2,5	-	1,0	-	2,0
5	-	2,0	-	4,0

Все смешалось: горная местность и местность с растительностью

Требование к точности высот пунктов ПВО подходит только для высоты сечения рельефа 0.5м.

Просматривается асимметрия требований к точности высот в сравнении с точностью координат.

Удовлетворительная сходимость мер точности.

Анализ «новых» нормативов точности топографических съемок (4)

Масштаб инженерно-топографических изысканий для создания ИЦММ и топографических планов	СКП в определении координат пунктов съемочной геодезической сети относительно пунктов опорной геодезической сети, м, не более			
	Застроенная территория, открытая местность на незастроенной территории		Незастроенная территория, покрытая растительностью	
	Точные ¹⁾	Средней точности ²⁾	Точные ¹⁾	Средней точности ²⁾
1:5000	0,40	0,50	0,60	0,75
1:2000	0,16	0,25	0,24	0,35
1:1000	0,08	0,10	0,12	0,15
1:500	0,04	0,08	0,06	0,10
1:200	0,02	0,05	-	-

1) Относятся приборы повышенной точности, высокой точности, точные.

2) Относятся приборы средней точности и технические. Допускается применять по согласованию.

Примечание - Предельно допустимые погрешности не должны превышать удвоенных значений СКП.

Таблица 7 - СКП высот пунктов уравниваемой съемочной геодезической сети относительно исходных пунктов опорной сети

Масштаб инженерно-топографических изысканий для создания ИЦММ и топографических планов	СКП в определении координат пунктов съемочной геодезической сети относительно пунктов опорной геодезической сети, м, не более			
	Равнинная местность		Пересеченная местность	
	Точные ¹⁾	Средней точности ²⁾	Точные ¹⁾	Средней точности ²⁾
1:5000	0,50	0,50	0,75	0,75
1:2000	0,20	0,25	0,30	0,35
1:1000	0,10	0,10	0,15	0,15
1:500	0,05	0,08	0,08	0,10
1:200	0,02	0,05	-	-

Координатные требования к точности по ГОСТ 32869-2014.

Эклектика мер точности и отсутствие логики их образования. Регламент только для ПВО, про съемочные пикеты забыли.

Меры «средней точности» - это $M_{п,ху}$ из СП 47.13330. Не понятно, как установлены «точные» меры.

Требования к точности высот в виде мер «средней точности» полностью повторяют требования к планарным составляющим из СП 47.13330, т.е. $M_H = M_{п,ху}$ и зависят от масштаба съемки, а не от высоты сечения рельефа?!!

Не стоит ожидать научной строгости от документа, в котором используется термин ТГИ вместо ИГДИ, а СПП приравнены к СКП (см. пп. 3.29 и 3.30 этого документа).

Анализ «новых» нормативов точности топографических съемок (5)

Сравнение требований к точности определений планового положения пунктов съёмочного обоснования и съёмочных пикетов **при съёмке открытой местности**

M_c	Съёмочное обоснование					Съёмочные пикеты				
	ϱ , м	M , м	$M_{п}$, м	$M_{п_{xy}}$, м	Норматив $M_{п_{xy}}$, м	ϱ , м	M , м	$M_{п}$, м	$M_{п_{xy}}$, м	Норматив $M_{п_{xy}}$, м
200	0,02	0,03	0,07	0,05	0,05	0,10	0,14	0,35	0,24	0,25
500	0,05	0,07	0,17	0,12	0,08	0,25	0,35	0,87	0,61	0,40
1000	0,10	0,14	0,35	0,24	0,10	0,50	0,71	1,73	1,22	0,50
2000	0,20	0,28	0,69	0,49	0,25	1,00	1,41	3,46	2,45	1,25
5000	0,50	0,71	1,73	1,22	0,50	2,50	3,54	8,65	6,12	2,50

Нормативные значения взяты из СП 47.13330 (см. выше слайд 9).

Вычисления координатных мер выполнены по формулам (1)-(3):

$$M_{п} = 2,45 \cdot M = 3,46 \cdot \varrho,$$

$$M_{п_{xy}} = 1,73 \cdot M = 2,45 \cdot \varrho,$$

Сравнение требований к точности определений планового положения пунктов съёмочного обоснования и съёмочных пикетов **при съёмке местности, закрытой растительностью**

M_c	Съёмочное обоснование					Съёмочные пикеты				
	ϱ , м	M , м	$M_{п}$, м	$M_{п_{xy}}$, м	Норматив $M_{п_{xy}}$, м	ϱ , м	M , м	$M_{п}$, м	$M_{п_{xy}}$, м	Норматив $M_{п_{xy}}$, м
200	0,03	0,04	0,10	0,07	-	0,14	0,20	0,48	0,34	-
500	0,08	0,11	0,26	0,18	0,10	0,35	0,49	1,21	0,86	0,47
1000	0,15	0,21	0,52	0,37	0,15	0,70	0,99	2,42	1,71	0,70
2000	0,30	0,42	1,04	0,73	0,35	1,40	1,98	4,85	3,43	1,63
5000	0,75	1,06	2,60	1,84	0,75	3,50	4,95	12,12	8,57	3,50

Наблюдаем существенное расхождение нормативных мер, указывающее на волевое ужесточение нормативов и расхождение «картометрических» и «координатных» допусков.

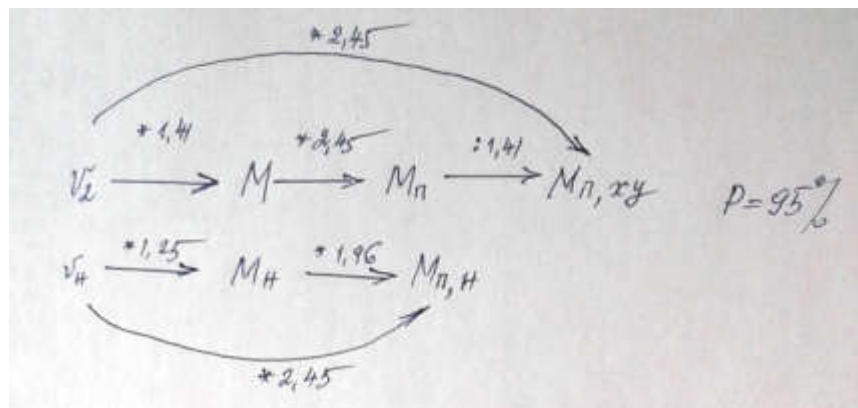
Анализ «новых» нормативов точности топографических съемок (6)

Достоинства и недостатки «новых» нормативов точности топографической съемки

Достоинства	Недостатки
Нормирование требований к точности в координатной форме	Внутренняя несогласованность «картометрических» и «координатных» мер точности. «Координатные» меры точности планового положения необоснованно завышены. При этом изменения к точности не сопровождаются изменением технологических допусков к съемке.
Расширение масштабного ряда топографических планов	Недостаточная линейка масштабов для развития цифровых методов, отсутствие методической основы для обоснования специальных съемок, нет требований к топосъемкам с применением современных цифровых средств измерений - ЛС, МЛС, ВЛС, ЦАФС.
Однозначность использования 95% уровня доверительной вероятности для нормирования предельно допустимых величин погрешностей	Не используется связь с требованиями ГОСТ 34100.3 по неопределенности измерений. От этого возникает путаница понятий и нормативных мер точности, не предусмотрены требования к точности съемочных пикетов.

Решение задач конструирования требований к специальным съемкам, включая новые средства, установление связи с нормативами прежних лет:

1. Классическая схема связи мер точности – нормируем средние погрешности, допуски устанавливаем в виде предельно допустимых СКП составляющих положения при заданном уровне доверительной вероятности



При $P=95\%$

$$M_{\Pi} = 2,45 \cdot M = 3,46 \cdot \vartheta_2,$$

$$M_{\Pi,xy} = 1,73 \cdot M = 2,45 \cdot \vartheta_2,$$

$$M_{\Pi,H} = 1,96 \cdot M_H = 2,45 \cdot \vartheta_H$$

При $P=90\%$

$$M_{\Pi} = 2,15 \cdot M = 3,04 \cdot \vartheta_2,$$

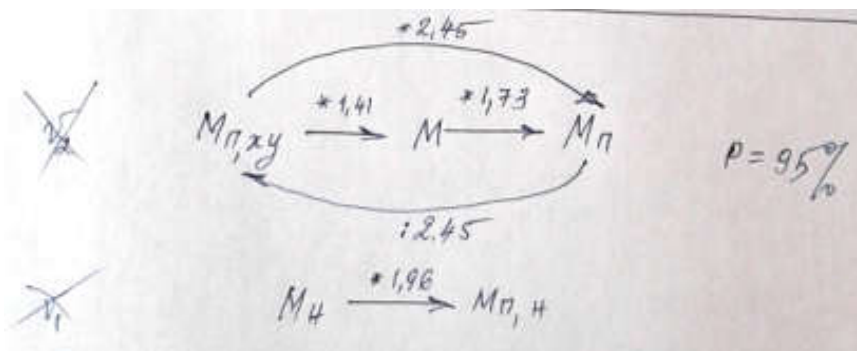
$$M_{\Pi,xy} = 1,52 \cdot M = 2,15 \cdot \vartheta_2,$$

$$M_{\Pi,H} = 1,64 \cdot M_H = 2,05 \cdot \vartheta_H$$

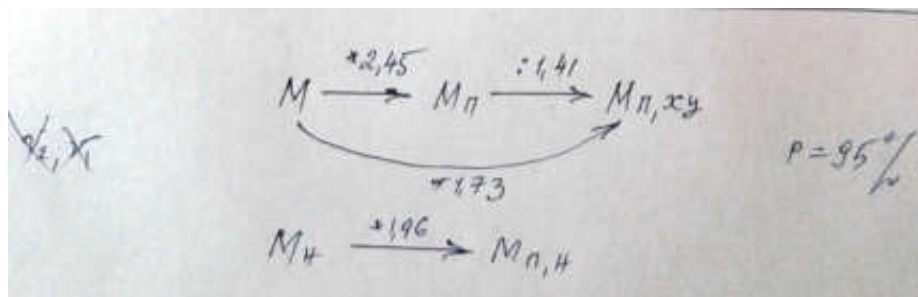
Часто
 $k=2$

Решение задач конструирования требований к специальным съемкам, включая новые средства, установление связи с нормативами прежних лет:

2. Схема ASPRS 2015 - нормируем предельно допустимые СКП составляющих положения, пользуемся предельными СКП планового и высотного положения. Средние погрешности не используются.



3. Предложение авторов сообщения – регламентируем СКП составляющих положения, контрольные допуски основываются на предельно допустимых СКП составляющих положения при выбранном уровне доверительной вероятности. Средние погрешности не используем, хотя точность высотного положения связываем с высотой сечения рельефа.



Предложения автора по расширению линейки масштабов инженерно-топографических планов

Расширение линейки масштабов введением разрядов точности специальной топосъемки (реализация схемы авторов, проект-предложение)

№	Масштаб	М, см	Мп ху, см	Мн, см	Мп н, см
1	1:200	4	7	4	8
2	1:200 1 разр.	2	3,5	2	4
3	1:200 2 разр.	3	5,2	3	6
4	1:500	10	17	10	20
5	1:500 1 разр.	5	9	5	10
6	1:500 2 разр.	8	14	8	16
7	1:1000	20	35	20	40
8	1:1000 1 разр.	10	17	10	20
9	1:1000 2 разр.	15	25	15	30
10	1:2000	40	70	40	80
11	1:2000 1 разр.	20	35	20	40
12	1:2000 2 разр.	30	50	30	60
13	1:5000	100	175	100	200
14	1:5000 1 разр.	50	85	50	100
15	1:5000 2 разр.	80	140	80	160

Для составления смет стоимости съёмок ж.д. назначения масштабов 1:500 с разрядами до 1:5000 с разрядами можно пользоваться СБЦИ 2004 с введением согласованных с Заказчиком коэффициентов сложности.

Разряды могут отражать особенности территории съёмки - залесенность, застроенность, всхолмленность, или гористость, а также повышенные требования к точности плановых и высотной составляющих. **Главное, все меры точности согласованы с историей требований к топопланам, а также между собой, заложена равная точность плановых и высотных координат (имеется небольшая асимметрия в сторону точности плановых координат).**

В сообщении был рассмотрен ряд принципиальных вопросов регламентации точности топографических съемок при использовании координатно-цифровых средств измерений при выполнении ТГР в составе инженерно-геодезических изысканий. В частности:

- Методика образования взаимосвязанных и тождественных регламентов точности в «картометрической» и «координатной» формах;
- Условия корректного выбора и применения мер точности топографической съемки и контроля ее качества;
- Анализ достоинств и недостатков действующих требований к точности топосъемок в ходе ИГДИ;
- Вопрос возможного расширения линейки масштабов съемок, который будет соответствовать потенциалу координатных методов получения геопространственных данных.

Результаты и сведения, приведенные в сообщении, могут использоваться для совершенствования нормативной базы топографических съемок крупного масштаба и способствовать разработке комплекса нормативных требований к точности сбора топографических данных об объекте и местности, относящихся к применению таких координатных технологий, как лазерное сканирование(наземное и воздушное), а также цифровая аэросъемка(в том числе и с помощью БПЛА), выполняемых в ходе инженерно-геодезических изысканий.



Спасибо за внимание!

Тел.: 8-9021-710-824

E-mail: vyaz.irk@yandex.ru

Тел.: 8-9021-710-823

E-mail: YarmolukPA@rzdpru.ru

**ЗАЛУЦКИЙ
Вячеслав
Трофимович**

**ЯРМОЛЮК Павел
Андреевич**