

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2021 • Том. 11 • № 3

MODELLING AND DATA ANALYSIS

SCIENTIFIC JOURNAL

2021 • Vol. 11 • № 3



Московский государственный
психолого-педагогический университет
Moscow State University
of Psychology & Education

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – Л.С. Куравский

Заместители главного редактора – С.Д. Кулик, А.В. Пантелеев

Члены редакционной коллегии – К.К. Абгарян, Г.Г. Амосов, М.В. Воронов, Е.Л. Григоренко (США), В.К. Захаров, А.И. Кибзун, Л.М. Либкин (Великобритания), В.Р. Милов, А.В. Наумов, Д.Л. Ревизников, Х. Холлинг (Германия), Д. Фрэнсис (США), К.В. Хорошенко (Великобритания), Г.А. Юрьев

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель редакционного совета – Г.Г. Амосов

Члены редакционного совета – В.А. Барабанщиков, П. Бентлер (США), А.В. Горбатов, Л.С. Куравский, Л.М. Либкин (Великобритания), А.А. Марголис, В.В. Рубцов, Д.В. Ушаков, Д. Фрэнсис (США)

Ответственный секретарь – Н.Е. Юрьева

Издаётся с 2011 года

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный психолого-педагогический университет»

Адрес редколлегии:

г. Москва, ул. Сретенка, 29, факультет информационных технологий
Тел.: +7 (499) 167-66-74
E-mail: mad.mgppu@gmail.com

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете РФ по печати.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации

ПИ № ФС77-52058 от 7 декабря 2012 года

ISSN: 2219-3758

ISSN: 2311-9454 (online)

© **ФГБОУ ВО «Московский государственный психолого-педагогический университет», 2021.**
Все права защищены. Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения редакционной коллегии. Правила оформления рукописей, направляемых в редакцию журнала, высылаются по запросу по электронной почте.



снизился на 35 %, процент занятости пассажирских кресел в среднем в 2020 году по сравнению с 2019 годом снизился на 10,84 %. Указанное сокращение спроса на перелеты привело к существенному ухудшению финансового положения компаний. В рамках статьи на основании 5-факторной модели Альтман проведен анализ оценки возможности банкротства указанных выше компаний. По итогам данного анализа установлено, что большинство авиаперевозчиков находятся в «красной зоне», следовательно, возможность банкротства – 80–100 %. Итогами данной статьи явился перечень предложенных авторами, в том числе с учетом анализа иностранного опыта, мероприятий, необходимых для поддержки гражданской авиации.

Ключевые слова: кризис, коронавирусная инфекция, гражданская авиация, авиаперевозчик, пассажиропоток, оценка банкротства, 5-факторная модель Альтман.

Для цитаты:

Наумов А.В., Наумова А.А. Влияние кризиса, вызванного распространением коронавирусной инфекции (COVID-19), на гражданскую авиацию Российской Федерации // Моделирование и анализ данных. 2021. Том 11. № 3. С. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110301>

1. ВВЕДЕНИЕ

Экономика любой страны развивается по циклической системе. Циклы, в которых присутствуют как периоды подъема, так и спада. В 2020 году экономика России столкнулась с беспрецедентным сочетанием трех шоков [1]. Первым шоком и катализатором явилась пандемия, вызванная распространением коронавирусной инфекции (COVID-19), которая привела к практически мгновенной остановке или существенным ограничениям деятельности большинства крупных компаний, а, следовательно, и существенному спаду экономики. Вторым шоком явилось падение цен на нефть, вызванное сокращением мирового спроса на углеводороды в связи с принятием карантинных мер и распадом сделки ОПЕК+ в марте, что привело к обесценению рубля. Минимальное значение цены на нефть было достигнуто 21.04.2020 (19,33 доллара за баррель) [2]. Третьим шоком явилось снижение спроса на широкий круг товаров российского экспорта вследствие спада мировой экономики. Все вышеуказанное привело к экономическому кризису 2020 года.

Наиболее катастрофичной для России оказалась весна 2020 года, поскольку именно в это время были предприняты всевозможные меры для борьбы с «COVID-19», а именно:

- закрытие границ РФ;
- минимизация транспортного сообщения;
- приостановка предприятий и организаций;
- закрытие целых направлений бизнеса.



С 01.02.2020 были отменены практически все авиарейсы между Китаем и Российской Федерацией. 05.03.2020 Мэром Москвы был издан Указ¹ в соответствии с которым большинству компаний отрасли бытового обслуживания, таким, например, как салоны красоты, рестораны и т.д. было предписано закрыться. Кроме того, были запрещены массовые мероприятия. В дальнейшем указанному примеру последовали мэры и губернаторы других регионов и областей. С 11.03.2020 началось ограничение авиаперелетов между Российской Федерацией и странами Европейского союза (Германией, Испанией, Италией и Францией). Указом² Президента Российской Федерации были объявлены нерабочими днями период с 30.03.2020 по 30.04.2020.

Влияние пандемии, вызванной распространением коронавирусной инфекции COVID-19, на мировую экономику, экономику Российской Федерации в целом и на отдельные отрасли рассмотрена в работах таких российских и зарубежных авторов, как Крунтяева Е.Д. [3], Левшукова О.А., Матвеев А.С., Позоян Д.П. [4], Максимова Е.В., Рябцев А.Г., Сазонова О.А. [5], Дробот Е.В., Макаров И.Н., Назаренко В.С., Манасян С.М. [6], Полбин А.В., Синельников-Мурылев С.Г., Трунин П.В. [7], Кулькова И.А. [8], Дробот Е.В. [9], Bello Abba Ahmed [10], Портанский А.П., Судакова Ю.М., Ларионов А.В. [11], Щурина С.В. [12] и Кулькова И.А. [13] и т.д.

Среди всех отраслей, пострадавших от пандемии, вызванной распространением COVID-19, отрасль гражданской авиации пострадала сразу двумя разными способами.

Совершенно очевидно, что повлиял страх заражения. Не один бизнес не зависит так сильно от того, что часами вы находитесь рядом с незнакомцами, перебрасывая потенциально больных людей с одного континента на другой.

Менее прямым фактором было падение экономики авиационной отрасли.

В авиации считается аксиомой, что авиаперелеты связаны с ВВП. Когда у людей больше денег, они больше летают. Но в разгар пандемии, данное утверждение не сработало, не зависимо от дохода, билеты покупались лишь теми, кто стремился вернуться в родные страны.

Как же повлияла пандемия на авиационную отрасль России? К каким последствиям привела вынужденная практически полная остановка деятельности авиаперевозчиков? Какие меры необходимо предпринять, чтобы поддержать данную сферу бизнеса и не допустить банкротства крупных компаний?

Целью исследования явилась разработка комплекса мероприятий необходимого для поддержки гражданской авиации при преодолении последствий кризиса, в том числе с учетом иностранного опыта.

Объектом исследования явилась гражданская авиация Российской Федерации.

¹ О введении режима повышенной готовности: указ Мэра Москвы от 05.03.2020. № 12-УМ

² Об объявлении в Российской Федерации нерабочих дней: указ Президента Российской Федерации от 25.03.2020 № 206



2. МЕТОД

Авторами был проведен анализ влияния ограничительных мер, вызванных распространением COVID-19, на поведение пассажиров.

Согласно данным Федерального агентства воздушного транспорта (РОСАВИАЦИЯ), наибольший удельный вес (68,4 %) в объеме российских гражданских авиаперевозчиков на протяжении последних 5 лет занимают такие компании, как ПАО Аэрофлот, АО «Авиакомпания «Сибирь», ООО «Авиакомпания «Победа», АО «Авиакомпания «Россия» и ОАО «Авиакомпания «Уральские авиалинии». На примере данных компаний и проводись исследования.

Для оценки изменения спроса на гражданские перелеты была рассмотрена динамика объема пассажиропотока указанных выше авиаперевозчиков в период 2015–2020 г.

Таблица 1

Объем пассажиропотока пяти крупнейших российских авиаперевозчиков в период 2015–2020 г.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Измен. в 2020 по сравнению с 2019
ПАО Аэрофлот	26 111 728	28 977 880	32 845 182	35 762 452	37 220 668	14 563 135	-61 %
АО «Авиакомпания «Сибирь»	8 208 508	9 509 018	9 947 624	11 198 533	14 046 452	12 349 229	-12 %
ООО «Авиакомпания «Победа»	4 751 568	8 099 498	11 152 736	11 140 199	10 287 233	9 086 736	-12 %
АО «Авиакомпания «Россия»	5 540 382	6 654 417	8 000 474	9 000 615	11 553 056	5 710 793	-51 %
ОАО «Авиакомпания «Уральские авиалинии»	5 445 134	6 467 188	7 300 240	7 652 155	9 616 908	5 632 152	-41 %

В период с 2015 по 2019 г у всех авиакомпаний (за исключением ООО «Авиакомпания «Победа» начиная с 2018 года) наблюдалось ежегодное увеличение пассажиропотока. В 2016 году по сравнению с 2015 годом наблюдался в среднем прирост пассажиропотока на 27 % (наибольший прирост наблюдается у ООО «Авиакомпания «Победа» на 70 %), в 2017 году по сравнению с 2016 годом в среднем на 18 % (наибольший прирост также наблюдается у ООО «Авиакомпания «Победа» на 38 %), в 2018 году по сравнению с 2017 годом в среднем на 8 % (наибольший прирост у АО «Авиакомпания «Россия» и АО «Авиакомпания «Сибирь» на 13 %), в 2019 году по сравнению с 2018 годом в среднем на 15 % (наибольший прирост у АО «Авиакомпания «Россия» на 28 %).

При этом объем пассажиропотока в 2020 году по сравнению с 2019 годом у всех авиакомпаний снизился (в среднем на 35 %). Наибольшее снижение пассажиропотока наблюдается у ПАО Аэрофлот – 61 %.



Также для оценки динамики спроса на гражданские авиаперелеты был рассмотрен процент занятости пассажирских кресел на рейсах 5 указанных выше компаний за период с 2015 по 2020 г.

Таблица 2

Процент занятости пассажирских кресел на рейсах пяти крупнейших российских авиаперевозчиков в период 2015–2020 г.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Изменение в 2020 году по сравнению с 2019
ПАО Аэрофлот	79,3	81,3	81,8	80,5	79,2	66,9	-15,53 %
АО «Авиакомпания «Сибирь»	80,3	85,2	85,2	86,5	86,4	73,1	-15,39 %
ООО «Авиакомпания «Победа»	75,7	81,7	84,4	86,6	94,0	91,6	-2,55 %
АО «Авиакомпания «Россия»	69,9	71,9	82,6	82,3	85,3	78,2	-8,32 %
ОАО «Авиакомпания «Уральские авиалинии»	75,0	78,3	75,9	79,9	82,4	72,2	-12,38 %

В период с 2015 года по 2019 год наблюдался прирост среднегодового значения процента занятости пассажирских кресел. При этом в 2020 году по сравнению с 2019 годом, процент занятости пассажирских кресел в среднем снизился на 10,84 %. Наибольшее снижение наблюдалось на рейсах ПАО Аэрофлот, в связи с существенным превышением уровня цен по сравнению с компаниями – конкурентами. Указанное сокращение пассажиропотока не могло не оказать влияние на финансовые показатели деятельности компаний.

Учитывая указанное выше можно сделать вывод, что постоянно росший с 2015 года спрос на гражданские перелеты в 2020 году существенно сократился. Сокращение спроса на авиаперелеты, закрытие границ, вынужденный простой самолетов на стоянке не могли не оказать негативного влияние на финансовое положение компаний.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Авторами была проведена оценка влияния указанных выше факторов на основные финансовые показатели пяти выбранных авиаперевозчиков, а также оценена динамика данных показателей по сравнению с итогами деятельности компаний за 2019 год.

Таблица 3

Основные финансовые показатели пяти крупнейших российских авиаперевозчиков в период 2019–2020 г.

	Чистые активы		Финансовый результат		Выручка	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020
ПАО Аэрофлот	69 726 232	53 276 490	5 286 800	-96 527 133	551 767 420	229 766 365
АО «Авиакомпания «Сибирь»	16 447 318	11 214 108	3 602 618	-5 233 210	167 303 916	97 517 701



	Чистые активы		Финансовый результат		Выручка	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020
ООО «Авиакомпания «Победа»	7 277 032	8 677 189	4 895 654	1 400 157	52 384 926	36 980 457
АО «Авиакомпания «Россия»	7 007 154	2 871 103	2 119 453	-3 957 138	126 481 592	68 422 741
ОАО «Авиакомпания «Уральские авиалинии»	7 653 558	1 875 694	2 091 775	-5 845 874	88 480 195	54 256 814

По итогам 2020 года по сравнению с 2019 годом у всех компаний, наблюдалось существенное сокращение чистых активов (в среднем на 34 %), что обусловлено сокращением неиспользованной прибыли. Наибольшее сокращение чистых активов наблюдалось у ОАО «Авиакомпания «Уральские Авиалинии» (на 75,5 %).

Деятельность всех компаний, за исключением ООО «Авиакомпания «Победа», являлась убыточной. Наибольший убыток был достигнут ПАО Аэрофлот – 96 527 133 тыс. рублей.

ООО «Авиакомпания «Победа» является одним из самых быстроразвивающихся лоукостеров в мире. Учитывая низкие цены на билеты указанного авиаперевозчика, большинство людей при экстренном возвращении пользовались услугами данного перевозчика, что подтверждается наименьшим сокращением выручки (по сравнению с 2019 годом на 29,4 %) по сравнению с иными анализируемыми компаниями.

Для более полного анализа финансовой деятельности компаний была проведена оценка возможности банкротства выбранных перевозчиков за период с 2017 по 2020 г.

Существует несколько классификаций подходов к анализу возможности банкротства организации. Наиболее известная классификация – использование качественных, количественных и комбинированных подходов [14,15].

В основе количественных подходов лежит построение факторной модели, позволяющей количественно оценить опасные для компании финансовые тенденции.

Среди наиболее количественных моделей оценки банкротства отмечаются такие, как коэффициент Таффлера, коэффициент Бивера, модель А.Ю. Беликова – Г.В. Давыдовой, модель Альтмана и т.д. Все указанные модели имеют как ряд преимуществ, так и ряд недостатков, при этом, наиболее точной на сегодняшний день является модель Альтмана [16,17,18].

Эдвард Альтман – американский ученый, который один из первых предложил оценивать финансовое состояние не с помощью коэффициентов, а с использованием интегральной модели. Ученым было разработано несколько моделей оценки банкротства: 2-х факторная, 4-х факторная и 5-ти факторная. 2-х факторная модель может быть использована для экспресс-анализа деятельности предприятия, 4-х факторная разработана с учетом особенностей торговых предприятий, 5-ти факторная модель была адаптирована для анализа деятельности предприятий любой сферы деятельности и правовой формы [19]. На основании 5-ти факторной моделей авторами произведена оценка возможности банкротства рассматриваемых авиаперевозчиков.

Формула расчета интегрального показателя следующая [20]:



$$Z = 1.2X_1 + 1.4X_2 + 3.3X_3 + 0.6X_4 + X_5,$$

Основные факторы модели:

X_1 = Оборотный капитал/Активы,

X_2 = Нераспределенная прибыль/Активы

X_3 = Операционная прибыль/Активы

X_4 = Рыночная стоимость акций/ Обязательства

X_5 = Выручка/Активы

Оценка по пятифакторной модели Альтмана:

Если $Z < 1,8$ – зона финансового риска, в 80–100 % компании признаются банкротами («красная» зона).

Если $1,8 < Z < 2,77$ – зона неопределенности, в 35–50 % случаев компании признаются банкротами («серая» зона).

Если $1,77 < Z < 2,9$ – зона неопределенности, в 15–20 % случаев компании признаются банкротами («серая» зона).

Если $Z > 2,9$ – зона финансовой устойчивости («зеленая» зона).

Таблица 4

**Результаты оценки банкротства пяти крупнейших
российских авиаперевозчиков на основании 5-факторной
модели Альтмана за период 2017–2020 г**

	ПАО Аэрофлот	АО «Авиа- компания «Сибирь»	ООО «Авиа- компания «Победа»	АО «Авиа- компания «Россия»	ОАО «Авиа- компания «Уральские Авиалинии»
2017	3.99	3.06	5.33	4.23	5.54
2018	3.38	3.22	4.16	4.02	4.56
2019	3.2	3.3	4.4	3.7	5.1
2020	-0.81	0.83	2.67	0.79	1.26

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что за период 2017–2019 г деятельность авиаперевозчиков являлась финансово устойчивой («зеленая зона»).

При этом по итогам 2020 года у всех компаний, за исключением ООО «Авиакомпания «Победа», вероятность банкротства данных авиаперевозчиков составила -0.8–1.0 («красная зона»).

Таблица 5

**Результаты оценки банкротства пяти крупнейших
российских авиаперевозчиков на основании 5-факторной
модели Альтмана по итогам 2020 года**

Наименование показателя	ПАО Аэрофлот	АО «Авиа- компания «Сибирь»	ООО «Авиа- компания «Победа»	АО «Авиа- компания «Россия»	ОАО «Авиа- компания «Уральские авиалинии»
Оборотные активы (тыс. рублей)	173 492 749.00	48 204 039.00	16 010 171.00	15 610 375.00	15 396 733.00
Дебиторская задолженность (тыс. рублей)	81 570 945.00	11 327 562.00	3 395 579.00	5 095 862.00	6 532 742.00



Наименование показателя	ПАО Аэрофлот	АО «Авиа- компания «Сибирь»	ООО «Авиа- компания «Победа»	АО «Авиа- компания «Россия»	ОАО «Авиа- компания «Уральские авиалинии»
Сумма активов (тыс. рублей)	271 035 127.00	70 496 322.00	22 387 066.00	43 114 821.00	21 347 321.00
Чистая прибыль (тыс. рублей)	-96 527 133.00	-5 233 210.00	1 400 157.00	-3 957 138.00	-5 845 874.00
ЕВИТ (тыс. рублей)	-119 269 823.00	-3 915 904.00	1 847 906.00	-4 187 396.00	-6 318 874.00
Собственный капитал (тыс. рублей)	53 276 490.00	11 214 108.00	8 677 189.00	2 871 103.00	1 875 694.00
Заемный капитал (тыс. рублей)	217 758 637.00	59 282 214.00	13 709 877.00	40 243 718.00	19 471 627.00
Выручка (тыс. рублей)	229 766 365.00	97 517 701.00	36 980 457.00	68 422 741.00	54 256 814.00
Краткосрочные обязательства (тыс. рублей)	140 784 464.00	70 496 322.00	10 902 600.00	29 628 688.00	14 954 712.00
Прибыль до налогооблож. (тыс. рублей)	-123 149 777	-5 233 210.00	1 844 688	-4 750 050	-6 864 734.00
Проценты к уплате (тыс. рублей)	3 879 954	1 317 306	3 218	562 654	545 860.00
Z-счет Альтмана (доля)	-0.81	0.83	2.67	0.79	1.26

Следует отметить, что компании ПАО Аэрофлот, АО «Авиакомпания «Сибирь» и АО «Авиакомпания «Россия» входят в одну группу компаний. Кроме того, ПАО Аэрофлот является государственно-частной компанией, что безусловно снижает вероятность банкротства указанных перевозчиков. Тем не менее, полученные результаты свидетельствуют о существенных негативных тенденциях в деятельности компаний. В данной случае, единственной реальной силой, способной оказать в данной ситуации поддержку компаниям, является государство.

Чтобы предложить мероприятия по поддержке гражданской авиации, авторами был рассмотрен зарубежный опыт по поддержке авиаперевозчиков в период пандемии.

Одним из наиболее пострадавших авиаперевозчиков по итогам 2020 года была признана немецкая компания Lufthansa. Авиакомпания была на грани банкротства, но государство вмешалось и в обмен на 20 % акций компании предоставило помощь в размере 9 млрд евро.

Не менее известной французской компании Альянс Air France была оказана финансовая помощь от государства. Авиаперевозчик получил поддержку в размере 7 млрд евро, 3 из которых – живые деньги, а еще 4 – государственные гарантии.

Американским авиаперевозчиками было получено порядка 25 млрд долл США от властей США.

Что же было сделано российскими властями?



С целью не допущения банкротства крупных, в том числе стратегически значимых предприятий, Постановлением Правительства РФ № 428³ сроком на 6 месяцев был введен мораторий на возбуждение дел о банкротстве по заявлению кредиторов. Постановлением Правительства РФ № 1587⁴ данный мораторий был продлен и отменен 08.01.2021 в связи с истечением срока.

Это время, в том числе, было дано для разработки ряда мероприятий с целью избежания процедуры банкротства юридических лиц. На сегодняшний день с целью поддержки гражданской авиации государством предприняты/были предприняты следующие меры:

- Предоставлялись субсидии российским авиакомпаниям на частичную компенсацию расходов в связи со снижением доходов таких авиакомпаний в результате падения объемов пассажирских воздушных перевозок вследствие распространения новой коронавирусной инфекции⁵. Первоначально указанная программа действовала с февраля по июль 2020 года. В дальнейшем⁶ указанная программа была продлена до ноября;
- С 17 марта 2020 г. был установлен понижающий коэффициент в размере 0,01 ставки сбора за аэронавигационное обслуживание для российских пользователей воздушного пространства Российской Федерации:
 - на маршрутах обслуживания воздушного движения внутри Дальневосточного федерального округа;
 - в районах аэродромов, расположенных на территории Дальневосточного федерального округа.
- С 17 марта 2020 г. был установлен понижающий коэффициент в размере 0,5 ставки сбора за аэронавигационное обслуживание на маршрутах обслуживания воздушного движения и в районах аэродромов для российских пользователей воздушного пространства Российской Федерации, осуществляющих внутренние полеты, на срок до 01 октября 2020 года.

Принятые меры по установлению понижающих коэффициентов за аэронавигационное обслуживание воздушных судов российских авиакомпаний позволят снизить себестоимость перевозки. Кроме того, в Правительством были сделаны послабления при определении сроков оплаты обязательных налоговых платежей.

³ О введении моратория на возбуждение дел о банкротстве по заявлению кредиторов в отношении отдельных должников: Постановление Правительства Российской Федерации от 03.04.2020 № 428

⁴ О продлении срока действия моратория на возбуждение дел о банкротстве по заявлению кредиторов в отношении отдельных должников: Постановление Правительства Российской Федерации от 01.10.2020 № 1587

⁵ О предоставлении в 2020 году из федерального бюджета субсидий российским авиакомпаниям на частичную компенсацию расходов в связи со снижением доходов таких авиакомпаний в результате падения объемов пассажирских воздушных перевозок вследствие распространения новой коронавирусной инфекции: Постановление Правительства Российской Федерации от 13.05.2020 № 661

⁶ О внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 13.05.2020 № 661



4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сроки окончания пандемии до сих пор остаются неопределенными. Постепенное снятие ограничений на международные поездки и полеты началось 01.08.2020 и первыми странами стали Турция и Танзания. Однако, учитывая сложную эпидемиологическую ситуацию, въезд в указанные страны был снова ограничен с 15.04.2021 по 01.06.2021 года (Танзания), по 22.06.2021 (Турция).

Таким образом, еще на протяжении достаточно длительного времени с целью не допущения банкротства ряда авиаперевозчиков, придется осуществлять мероприятия по поддержанию данной отрасли экономики.

В том числе, возможна разработка следующего комплекса мероприятий:

- предоставление кредитов на льготных условиях (в том числе под льготную процентную ставку);
- временное ограничение расширения парков воздушных судов авиакомпаний;
- компенсация расходов на консервацию и расконсервацию избыточных воздушных судов как вынужденной меры;
- предоставление скидок на топливо для авиаперевозчиков;
- системное увеличение сроков календарных форм технического обслуживания, если воздушные суда не эксплуатировались в период эпидемии;
- смягчение условий поставки запчастей для ремонта воздушных судов;
- смягчение условий поставок продуктов питания на борта самолетов.

Литература

1. Киргизова Н.П. Анализ факторов экономического кризиса 2020 года // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2020. № 9. С. 799–804.
2. Юшков И.В., Дроздова Ю.Д. Сделка ОПЕК+ 2020 года: Предпосылки и интересы участников // Геоэкономика энергетики. 2020 № 1. С. 6–20.
3. Крунтяева Е.Д. Последствие пандемии COVID-19 для российской экономики // Молодой ученый. 2020. № 35 (325). С. 44–46.
4. Левишуква О.А., Матвеев А.С., Позоян Д.П. Возможные последствия пандемии COVID-19 на развитие экономики России // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 29(3). С. 191–194.
5. Максимова Е.В., Рябцев А.Г., Сазонова О.А. Влияние коронавируса на экономику России // Инновации и инвестиции. 2020. № 4. С. 283–286.
6. Дробот Е.В., Макаров И.Н., Назаренко В.С., Манасян С.М. Влияние пандемии COVID-19 на реальный сектор экономики // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Том 10. № 8. С. 2135–2150.
7. Полбин А.В., Синельников-Мурылев С.Г., Трунин П.В. Экономический кризис 2020 г.: причины и меры по его преодолению и дальнейшему развитию России // вопросы экономики. 2020. № 6. С. 5–21.
8. Кулькова И.А. Адаптация поведения предпринимателей к вызванным пандемией коронавируса изменениям // Экономика, предпринимательство и право. – 2020. – Том 10. – № 10. С. 2529–2540.
9. Дробот Е.В. Мировая экономика в условиях пандемии COVID-19: итоги 2020 года и перспективы восстановления // Экономические отношения. 2020. Том 10. № 4. С. 937–960.



10. *Bello Abba Ahmed*. Impact of COVID-19 Pandemic on Global Economy // MPRA Paper No. 103753, posted 30 Oct 2020 .
11. *Портанский А.П., Судакова Ю.М., Ларионов А.В.* Предпосылки мирового экономического кризиса и его начало весной 2020 г. в связи с пандемией COVID-19 // Вестник международных организаций. 2020. № 2. С. 191–212.
12. *Щурина С.В.* Меры поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства в приоритетных отраслях российской экономики в 2020 году / С.В. Щурина. – Текст: непосредственный // Экономика. Налоги. Право. – 2020. – № 1. – С. 60–71.
13. *Кулькова И.А.* Адаптация поведения предпринимателей к вызванным пандемией коронавируса изменениям / Экономика, предпринимательство и право. – 2020. – Том 10. – № 10. С. 2529–2540.
14. *Еримзина М.И.* Методические основы оценки вероятности банкротства // Международный научный журнал «Символ науки». 2017. № 04–1. С. 94–100.
15. *Вялых Д.С.* Количественные модели оценки вероятности банкротства и возможности их применения в отечественной практике диагностики банкротства // Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. под общей редакцией А.И. Вострещова. 2020. С. 34–44.
16. *Березовская Е.А., Евстигнеева А.С.* Модели и инструменты оценки вероятности банкротства организации // Символ науки. 2015. № 12–1. С. 96–98.
17. *Калашиникова Е.А.* Современные модели определения банкротства предприятия // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2019. № 1. [Электронный ресурс]. URL.: <https://ekonomika.snauca.ru/2019/01/16373>.
18. *Костин А.Н.* Анализ вероятности банкротства на примере акционерного общества // Экономика и менеджмент инновационные технологий. 2018. № 6. [Электронный ресурс]. URL.: <https://ekonomika.snauca.ru/2018/06/16063>.
19. *Альтман Э.* Финансовые коэффициенты, дискриминантный анализ и прогнозирование банкротства корпораций/ Финансовый журнал. 1968. № 4. С. 589–600.
20. *Сапегина А.А.* Логические модели диагностики банкротства предприятия // Молодой исследователь. 2016. № 1. С. 1–12.



Impact of the Crisis Caused by the Spread of Coronavirus Infection (COVID-19) on the Civil Aviation of the Russian Federation

Andrey V. Naumov *

Moscow Aviation Institute (National Research University)

Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3631-6168>

e-mail: naumovav@mail.ru

Anastasiya A. Naumova **

Russian Economic University named after G.V. Plekhanov

Moscow, Russian Federation

The authors analyzed the impact of the crisis caused by the spread of coronavirus infection (COVID-19) on the civil aviation of the Russian Federation, by analyzing the volume of civil air transportation in the period 2015–2020 using the example of the 5 largest Russian airlines, whose share is about 70 %, as well as analysis of the financial indicators of the above companies at the end of 2020. Thus, the object of the study was civil aviation. The aim of the study was to develop a set of measures necessary to support civil aviation in overcoming the consequences of the crisis. The work is built on a consistent research path using the following scientific forms: abstract-logical, mathematical, analytical, statistical.

Based on the analysis of the dynamics of the volume of civil traffic of the five largest Russian airlines, it was found that the volume of passenger traffic on average in 2020 compared to 2019 decreased by 35 %, the percentage of occupancy of passenger seats on average in 2020 compared to 2019 decreased by 10.84 %. This reduction in demand for flights has led to a significant deterioration in the financial position of the companies. Within the framework of the article based on

The 5-factor Altman model analyzes the assessment of the possibility of bankruptcy of the above companies. Based on the results of this analysis, it was found that most air carriers are in the “red zone”, therefore, the possibility of bankruptcy is 80–100 %. The results of this article were a list of the proposed by the authors, including taking into account the analysis of foreign experience, measures necessary to support civil aviation.

Keywords: crisis, coronavirus infection, civil aviation, air carrier, passenger traffic, bankruptcy assessment, 5-factor Altman model.

**Andrey V. Naumov*, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Probability Theory and Computer Modeling, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3631-6168>, e-mail: naumovav@mail.ru

***Anastasiya A. Naumova*, Master’s degree of the Department of Finance and Prices, Faculty of Finance, Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Moscow, Russian Federation



For citation:

Naumov A.V., Naumova A.A. Impact of the Crisis Caused by the Spread of Coronavirus Infection (COVID-19) on the Civil Aviation of the Russian Federation. *Modelirovanie i analiza dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2021. Vol. 11, no. 3, pp. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110301> (In Russ., abstr. in Engl.).

References

1. Kirgizova N.P. Analysis of the factors of the economic crisis in 2020 // Scientific and educational journal for students and teachers “StudNet”. 2020.No. 9.P. 799–804.
2. Yushkov I.V., Drozdova Yu.D. OPEC + deal 2020: Preconditions and interests of the participants // *Geoconomics of Energy*. 2020 No. 1. P. 6–20.
3. Kruntyaeva ED Consequences of the CO VI D-19 pandemic for the Russian economy // *Young Scientist*. 2020. No. 35 (325). 44–46.
4. Levshukova O.A., Matveev A.S., Pozoyan D.P. Possible consequences of the COVID-19 pandemic on the development of the Russian economy // *Natural and humanitarian research*. 2020. No. 29 (3). S. 191–194.
5. Maksimova E.V., Ryabtsev A.G., Sazonova O.A. The impact of coronavirus on the Russian economy // *Innovations and investments*. 2020. No. 4. S. 283–286.
6. Drobot E.V., Makarov I.N., Nazarenko V.S., Manasyan S.M. The impact of the COVID-19 pandemic on the real sector of the economy // *Economy, Entrepreneurship and Law*. 2020.Vol. 10.No. 8.P. 2135–2150.
7. Polbin A.V., Sinelnikov-Muryalev S.G., Trunin P.V. Economic crisis of 2020: causes and measures to overcome it and further development of Russia // *economic issues*. 2020. No. 6. S. 5–21.
8. Kulkova I.A. Adapting the behavior of entrepreneurs to the changes caused by the coronavirus pandemic // *Economics, Entrepreneurship and Law*. – 2020. – Volume 10. – No. 10. P. 2529–2540.
9. Drobot E.V. The global economy in the context of the COVID-19 pandemic: the results of 2020 and the prospects for recovery // *Economic Relations*. 2020.Vol. 10.No. 4.S. 937–960.
10. Bello Abba Ahmed. Impact of COVID-19 Pandemic on Global Economy // *MPRA Paper* No. 103753, posted 30 Oct 2020.
11. Portanskiy A.P., Sudakova Yu.M., Larionov A.V. : Preconditions of the global economic crisis and its beginning in the spring of 2020 due to the pandemic COVID-19 // *Bulletin of international organizations*. 2020. No. 2. P. 191–212.
12. Shchurina S.V. Support measures for small and medium-sized businesses in priority sectors of the Russian economy in 2020 / S.V. Shchurina. – Text: direct // *Economics. Taxes. Right*. – 2020. – No. 1. – P. 60–71.
13. Kulkova I.A. Adapting the behavior of entrepreneurs to the changes caused by the coronavirus pandemic / *Economy, entrepreneurship and law*. – 2020. – Volume 10. – No. 10. P. 2529–2540.
14. Erimzina M.I. Methodological bases for assessing the likelihood of bankruptcy // *international scientific journal “Symbol of Science”*. 2017. No. 04–1. S. 94–100.
15. Sluggish D.S. Quantitative models for assessing the likelihood of bankruptcy and the possibility of their application in the domestic practice of diagnosing bankruptcy // *Materials of the International (correspondence) scientific and practical conference*. edited by A.I. Vostretsova. 2020.S. 34–44.
16. Berezovskaya E.A., Evstigneeva A.S. Models and tools for assessing the likelihood of bankruptcy of an organization // *Symbol of Science*. 2015. No. 12–1. S. 96–98.
17. Kalashnikova E.A. Modern models for determining the bankruptcy of an enterprise // *Economics and management of innovative technologies*. 2019. No. 1. [Electronic resource]. URL .: <https://ekonomika.snauca.ru/2019/01/16373>.



18. Kostin A.N. Analysis of the likelihood of bankruptcy on the example of a joint-stock company // Economics and management of innovative technologies. 2018. No. 6. [Electronic resource]. URL.: <https://ekonomika.snauca.ru/2018/06/16063>.
19. Altman E. Financial coefficients, discriminant analysis and forecasting of bankruptcy of corporations / Financial journal. 1968. No. 4. S. 589–600.
20. Sapegina A.A. Logical models for diagnosing bankruptcy of an enterprise // Young researcher. 2016. No. 1. S. 1–12.

Методика самоактивации личности: опыт применения теории латентных черт (IRT)

Радчикова Н.П. *

Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ)
Московский педагогический государственный университет (ФГБОУ ВО МПГУ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5139-8288>
e-mail: nataly.radchikova@gmail.com

Одинцова М.А. **

Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3106-4616>
e-mail: mari505@mail.ru

Рассмотрена методика для измерения самоактивации как психологического конструкта, предполагающего внутреннюю произвольную активность личности и включающего три компонента: самостоятельность, физическую активацию и психологическую активацию. Для оценки методики в рамках теории латентных черт (IRT) применялась модель градуированных ответов. Оказалось, что все вопросы методики имеют дискриминативность пункта не ниже умеренной. Графики информационной функции для каждой шкалы методики показали, что измерения компонентов самоактивации являются довольно точными в диапазоне от низких значений до значений, существенно выше среднего, и только самые высокие значения (превышающие средние на два стандартных отклонения и более) измеряются недостаточно точно. Умеренная положительная взаимосвязь между самоактивацией и средним

****Радчикова Наталья Павловна***, кандидат психологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Научно-практического центра по комплексному сопровождению психологических исследований PsyDATA, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ); доцент кафедры возрастной психологии факультета дошкольной педагогики и психологии Московского педагогического государственного университета (ФГБОУ ВО МПГУ); г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5139-8288>, e-mail: nataly.radchikova@gmail.com

*****Одинцова Мария Антоновна***, кандидат психологических наук, заведующий кафедрой психологии и педагогики дистанционного обучения, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3106-4616>, e-mail: mari505@mail.ru



баллом успеваемости может служить подтверждением критериальной валидности методики. Проверка дискриминантной валидности, которая проводилась путем вычисления корреляций с другими схожими конструктами (самоконтроль, личностный динамизм, жизнестойкость), показала, что наиболее схожим с самоактивацией конструктом является жизнестойкость. При добавлении самоактивации в модель прогноза успеваемости на основании личностных ресурсов, объясненная дисперсия увеличивается на порядок больше, чем при добавлении жизнестойкости, что свидетельствует о том, что конструкт самоактивации отражает психологическую реальность, отличную от жизнестойкости, и обладает инкрементной валидностью.

Ключевые слова: самоактивация, личностные ресурсы, критериальная валидность, дискриминантная валидность, инкрементная валидность, теория латентных черт (IRT).

Благодарности. Авторы благодарят Н.В. Козыреву, преподавателя института психологии Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, за помощь в сборе данных для исследования.

Для цитаты:

Радчикова Н.П., Одинцова М.А. Методика самоактивации личности: опыт применения теории латентных черт (IRT) // Моделирование и анализ данных. 2021. Том 11. № 3. С. 19–35. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110302>

1. ВВЕДЕНИЕ

Понятие самоактивации используется в исследованиях динамики деятельности и субъективно соотнесенной внутренней мотивации деятельности, саморегуляции функциональных и эмоциональных состояний, а также адаптационных реакций на стрессы, поискового поведения и творческой активности личности [2, 11]. Самоактивации как психологический конструкт предполагает внутреннюю произвольную активность личности и включает три компонента: а) самостоятельность для решения жизненно важных задач (автономия, независимость, свобода выбора); б) личностную и поведенческую активность (инициативность, стремление к достижению целей); в) направленность на сохранение оптимального эмоционального и физического состояния (вера в свои возможности, вопреки ограничениям и вызовам) [9, 12]. Для измерения самоактивации предложена методика, обладающая приемлемыми психометрическими свойствами [9, 12]. В настоящее время требования к проверке психометрических свойств психологических методик усилились, и практически все авторы при разработке и адаптации методик определяют внутреннюю согласованность шкал, ретестовую надежность, внешнюю валидность как корреляцию с другими похожими конструктами, а большинство – еще и соответствие структуры полученных данных предполагаемой структуре (эксплораторный и конфирматорный факторный анализ). Тем не менее, довольно редко встречается проверка других видов валидности, среди которых можно назвать:



- Критериальную валидность, которая свидетельствует о том, что измеряемый показатель объясняет и/или предсказывает некоторые независимые от результатов теста и непосредственные меры исследуемого качества, такие как уровень достижений в какой-либо деятельности, степень развития способности, выраженность определенного свойства личности и т.д.;
- Дискриминантную валидность, которая свидетельствует о том, что нет сильно выраженной связи измеряемого показателя с показателями, имеющими другое теоретическое основание;
- Инкрементную валидность, которая указывает на роль измеряемого показателя в улучшении отбора лиц для некоторой реальной деятельности, либо предсказания каких-либо независимых от результатов теста реальных результатов, степень улучшения результативности процедуры отбора или предсказания по сравнению с другими альтернативными показателями.

Еще одной проблемой при разработке и адаптации методик является использование классической теории тестов (КТТ). В частности, КТТ критикуют за невозможность рассмотреть каждый из пунктов теста отдельно и определить трудность пунктов теста; за зависимость результатов тестирования от исследуемой выборки, а также за зависимость характеристики тестируемого или выборки от того, какой тест используется [1, 6]. Именно поэтому в последнее время все чаще стала использоваться теория IRT (Item-Response Theory), которая называется теорией латентных черт, современной теорией тестов, теорией моделирования и параметризации педагогических тестов [8], математической теорией педагогических измерений [1]. Мы будем придерживаться названия «теория латентных черт», так как оно не привязано только к педагогическим измерениям.

IRT была разработана для преодоления некоторых недостатков КТТ и имеет следующие преимущества [1, 4, 6]: оценки трудности тестовых заданий инвариантны относительно контингента испытуемых, по результатам тестирования которых они получены; оценки уровня подготовленности (выраженности латентной черты) испытуемых инвариантны относительно тестовых заданий (пунктов теста), по результатам выполнения которых они получены; ошибка измерения оценивается индивидуально для каждого испытуемого и каждого задания, причем ошибка подсчитывается непосредственно, а не косвенно; нормальность распределения параметров не требуется; вес (информационный вклад) тестового задания может быть вычислен отдельно вне зависимости от характеристик других заданий; есть возможность определить диапазон значений латентной измеряемой характеристики, в котором измерения происходят достаточно точно и т.д.

Таким образом, одной из целей данной работы стало применение IRT для проверки методики самоактивации. Второй целью была проверка критериальной, дискриминантной и инкрементной валидности методики. В качестве результата, который может зависеть от уровня самоактивации, была выбрана успешность обучения студентов в вузе, а в качестве показателя – успеваемость. Выбор обоснован тем, что успеваемость (измеряемая как средний балл) оценивается независимо и, в отличие от всех



остальных показателей, получаемых с помощью опросников-самоотчетов, имеет некоторую долю объективности. Кроме того, успеваемость измеряема, сведения о ней доступны. Предполагается, что уровень самоактивации может быть связан с успешностью учебной деятельности, потому что самостоятельность, личностная и поведенческая активность, направленность на сохранение оптимального эмоционально-функционального состояния позволяют менять внешнюю ситуацию или отношение личности к сложившейся ситуации даже при отсутствии точных прогнозов. Высокая самоактивация мобилизует и активизирует личностные ресурсы обучающихся, способствует оценке трудностей как вызова, дающего возможность проверить себя и свои силы.

2. МЕТОД

Участники исследования. Для проверки методики самоактивации с помощью IRT были использованы выборки РФ и РБ, описанные в [9, 12]. Так как результаты проверки надежности методики были в обоих случаях аналогичными, то обе выборки объединены в одну (N=448). В белорусской выборке (РБ) было 194 человека (74 % (144 человека) женского пола, 26 % (50 человек) – мужского). Возраст испытуемых колебался от 17 до 49 лет и в среднем составил 25 лет (медиана = 22 года, стандартное отклонение=6.7). В российской выборке было 254 человека. Из всех испытуемых 55.1 % (N=140) были женского пола, 44.9 % (N=114) – мужского. Возраст участников исследования колебался от 17 до 75 лет и в среднем составил 32 года (медиана = 29 лет, стандартное отклонение=13).

Для проверки критериальной, дискриминантной и инкрементной валидности были использованы две выборки, которые анализировались отдельно для возможности сопоставления результатов. Первую выборку составили 43 студента Белорусского государственного педагогического университета (74 % женского пола), которые подписали свои анкеты при первом тестировании с целью соотнесения данных с результатами повторного тестирования для проверки ретестовой надежности методики самоактивации. Возраст испытуемых колебался от 19 до 36 лет и в среднем составил 21 год (медиана = 20 лет, стандартное отклонение=2,8). Вторую выборку составили 35 студентов психолого-социального факультета Российского национального исследовательского медицинского университета (89 % женского пола). Возраст испытуемых колебался от 19 до 23 лет и в среднем составил 20 лет (медиана = 20 лет, стандартное отклонение=0,9).

Методики исследования. Участникам исследования предлагались методика самоактивации [9, 12], «Тест жизнестойкости» [10], «Опросник личностного динамизма» [13] и «Шкала самоконтроля» [3]. Успеваемость студентов оценивалась по оценкам, полученным ими в экзаменационные сессии. На момент проведения данного исследования белорусские студенты закончили вуз, поэтому для них брались все оценки за 4 года обучения (8 сессий) без учета оценок за государственные экзамены и практику. Таким образом, часть этих оценок была получена до того, как студенты заполняли бланки методики самоактивации, а часть – после. Оценки выставлялись



по 10-балльной шкале. Российские студенты к моменту проведения исследования были на 3 курсе, поэтому оценки брались за предыдущие 4 сессии. Все оценки были получены до того, как студенты заполняли бланки методики самоактивации. Оценки выставлялись по 5-балльной шкале.

Статистический анализ. Конфирматорный факторный анализ выполнялся в программе AMOS SPSS, проверка моделей и вычисление показателей IRT проводилась с помощью пакета MIRT в R, остальные вычисления (описательная статистика, коэффициенты корреляции, множественная линейная регрессия) – в программе STATISTICA 10.0.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При применении IRT предполагается, что с помощью данного теста измеряется только один конструкт, одна латентная переменная. Проверка этого предположения обычно осуществляется с помощью оценки общей объясненной дисперсии для первого фактора при эксплораторном факторном анализе (не менее, чем 20 % объясненной общей дисперсии для первого фактора [15]) или с помощью конфирматорного факторного анализа. В нашем случае методика содержит три шкалы, которые в сумме дают общий балл самоактивации. Результаты эксплораторного факторного анализа показали, что для модели, содержащей только один латентный фактор, первый фактор объясняет 26.5 % общей дисперсии. Для модели, содержащей три взаимосвязанных показателя (самостоятельность, физическая активация и психологическая активация), первые факторы объясняют соответственно 38.8 %, 41.0 % и 36.5 % общей дисперсии, что делает последнюю модель более предпочтительной. Результаты конфирматорного факторного анализа подтверждают это (табл. 1). Следовательно, в дальнейшем будем рассматривать методику как состоящую из трех шкал, каждая из которых представляет собой одномерный конструкт, и все вычисления будут производиться для каждой из шкал.

Таблица 1

Результаты конфирматорного факторного анализа для двух моделей самоактивации

Показатели соответствия модели исходным данным	Модель, предполагающая только один латентный конструкт (самоактивация)	Модель, предполагающая три взаимосвязанных показателя (самостоятельность, физическая активация и психологическая активация)
RMSEA [90 % дов.интервал]	0.096 [0.088;0.103]	0.088 [0.081;0.096]
GFI	0.86	0.87
AIC	1.43	1.25
BIC	1.76	1.61
CFI	0.74	0.79

Для оценки диагностических свойств методики самоактивации с психометрической точки зрения была выбрана модель градуированного ответа (graded response



model – GRM) [17]. Характеристические кривые (trace curves) для каждого пункта методики оказались монотонными (рис. 1). Пороговые значения (β) и дискриминативность для каждого пункта методики приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистика по каждому утверждению (пункту) методики самоактивации

Вопрос	α	β_1	β_2	β_3	β_4	S-c	p
Шкала 1. Самостоятельность							
Вопрос 1	0.69	-7.19	-4.56	-1.55	1.00	28.10	0.406
Вопрос 5	1.17	-4.21	-2.21	-0.53	1.40	31.61	0.137
Вопрос 7	1.56	-2.29	-1.11	-0.39	0.98	45.26	0.037
Вопрос 9	1.36	-3.44	-3.44	-0.41	1.33	33.01	0.162
Вопрос 10	1.14	-5.89	-5.89	-1.71	0.32	22.25	0.327
Вопрос 12	1.41	-3.31	-3.31	-0.74	0.91	48.50	0.007
Шкала 2. Физическая активация							
Вопрос 4	1.04	-3.83	-1.67	-0.11	1.91	32.18	0.408
Вопрос 6	1.24	-3.59	-1.71	-0.47	0.82	40.88	0.135
Вопрос 11	1.29	-2.94	-1.99	-1.23	0.09	36.56	0.443
Вопрос 13	0.83	-4.13	-1.93	0.09	2.26	41.01	0.260
Вопрос 15	1.91	-2.45	-1.67	-0.94	0.25	36.09	0.205
Вопрос 17	1.91	-2.70	-1.62	-0.72	0.62	13.52	0.997
Шкала 3. Психологическая активация							
Вопрос 2	1.31	-2.79	-1.11	0.31	2.17	37.26	0.203
Вопрос 3	1.36	-3.30	-1.93	-0.35	1.02	32.00	0.275
Вопрос 8	1.33	-3.83	-1.53	-0.02	1.32	35.22	0.107
Вопрос 14	0.84	-3.81	-1.97	0.07	3.32	34.07	0.278
Вопрос 16	1.36	-3.62	-2.41	-1.25	0.50	27.60	0.379
Вопрос 18	0.77	-3.83	-1.56	0.18	2.76	40.98	0.225

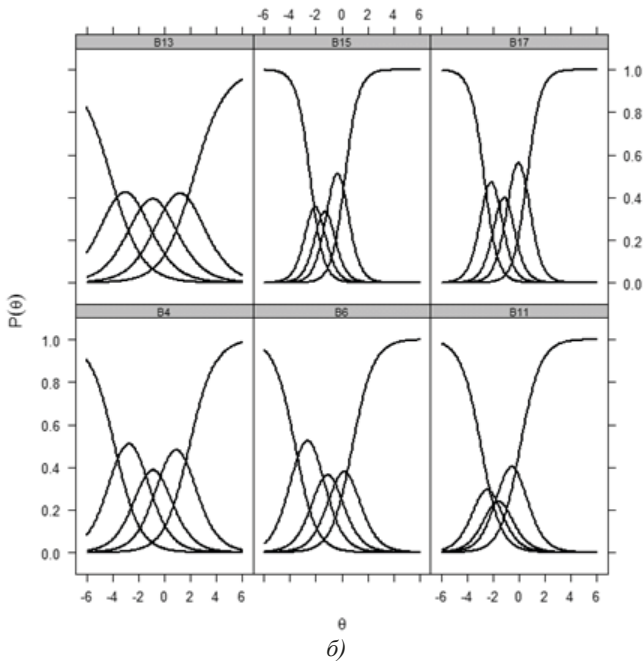
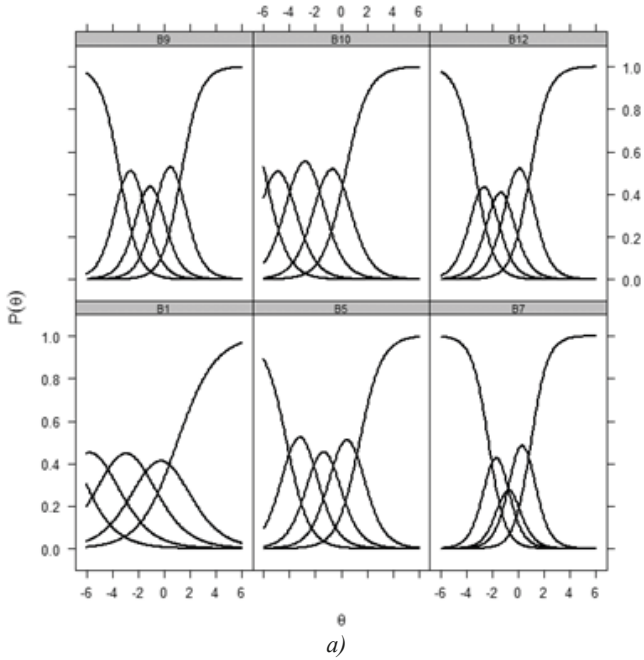
Примечание. Статистика критерия S- χ^2 является обобщенной статистикой хи-квадрат [16], эмпирическое значение, p – уровень статистической значимости; α – параметр, отражающий дискриминативность пункта; β – параметр, отражающий трудность пункта.

Результаты также показывают (табл. 2), что дискриминативность пунктов опросника довольно высока [14]: все вопросы имеют дискриминативность выше 0,6 (умеренная) и семь вопросов – выше 1,36 (высокая). Наименьшую дискриминативность имеет Вопрос 1 «Даже если мое мнение противоречит мнениям других, я не боюсь его отстаивать» ($\alpha=0,69$), а наибольшую – вопросы 15 «Я часто жалуюсь на какие-либо заболевания» и 17 «Обычно я чувствую слабость и недомогание» ($\alpha=1,91$).

Соответствие пунктов полученным данным было оценено с помощью критерия S- χ^2 [16], который показал, что для 16 утверждений из 18 соответствие приемлемое (табл. 2). Наибольшие отклонения обнаружены для вопроса 12 «Часто я чувствую, что ничего не могу изменить в своей жизни сам» (S- $\chi^2=48,50$; p=0,007) и вопроса 7 «Меня тяготит необходимость делать выбор самостоятельно» (S- $\chi^2=45,26$; p=0,037). Оба эти вопроса принадлежат одной шкале – шкале самостоятельности, которая по



классической теории тестов показала хорошие результаты (наибольшая альфа Кронбаха для выборки РФ и вторая по величине альфа Кронбаха для выборки РБ [9, 12]).



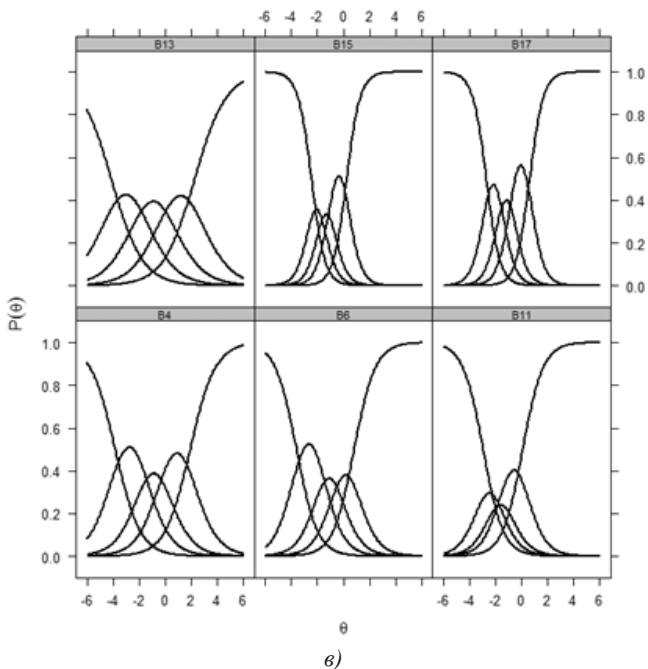


Рис. 1. Характеристические кривые утверждений (пунктов) методики самоактивации для шкал а) самостоятельности; б) физической активации; в) психологической активации

Информационная функция для всей методики (test information curve $I(\theta)$) вычисляется на основании суммирования информации, полученной от каждого пункта опросника (рис. 2). График данной функции показывает, как методика оценивает величину измеряемого конструкта в полном диапазоне значений этого конструкта. Яркое выраженный пик на этой кривой свидетельствует о неравномерности точности измерения: такая методика будет подходящей для точного измерения конструкта только для тех тестируемых, чьи значения находятся вблизи пика кривой. Плоские участки кривой свидетельствуют о том, что в данном диапазоне измерения можно считать достаточно точными. Для шкалы самостоятельности (рис. 2а) точность оценки невысока для самых низких значений и резко падает для самых высоких значений, что говорит о том, что высокая самостоятельность измеряется с помощью данного измерительного инструмента недостаточно точно. Средние значения самостоятельности измеряются точно, а низкие – лучше, чем высокие. Наилучшие показатели получены для шкалы психологической активации (рис. 2в): кривая для этой шкалы имеет самый большой плоский участок, и диапазон измерений высокой точности самый большой: примерно от -4 до 2.

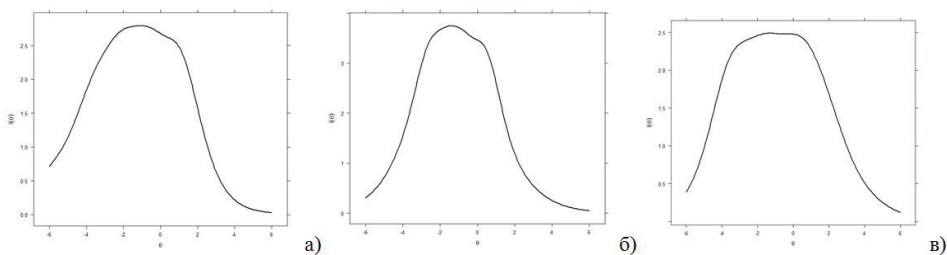


Рис. 2. Графики информационных функций для шкал методики самоактивации: а) шкала самостоятельности, б) шкала физической активации и в) шкала психологической активации

Перейдем к проверке критериальной валидности методики самоактивации, то есть к проверке того, насколько уровень самоактивации может объяснить и/или предсказать некоторый результат. Как было указано выше, в качестве такого результата была выбрана успеваемость студентов (средний балл и дисперсия сессионных оценок). Результаты корреляционного анализа показывают (табл. 3), что связи оказались сильнее для российской выборки. Со средним баллом положительно коррелируют практически все показатели личностных ресурсов (за исключением личностного динамизма) и очень многие показатели отрицательно коррелируют с дисперсией полученных студентами оценок

Таблица 3

**Показатели взаимосвязи (коэффициенты корреляции Пирсона)
между личностными ресурсами и успеваемостью
(средний балл и дисперсия сессионных оценок)**

Личностный ресурс	РФ (n=35)		РБ (n=43)	
	Средний балл	Дисперсия	Средний балл	Дисперсия
Самоконтроль	0.59*	-0.41*	0.24	-0.13
Личностный динамизм	0.26	-0.22	0.16	0.06
Самоактивация				
Самостоятельность	0.40*	-0.33	0.42*	-0.20
Физическая активация	0.35	-0.37*	0.09	0.13
Психологическая активация	0.63*	-0.54*	0.36*	-0.09
Самоактивация (общий балл)	0.57*	-0.52*	0.34*	-0.05
Жизнестойкость				
Вовлеченность	0.37*	-0.43*	0.16	0.16
Контроль	0.51*	-0.50*	0.26	0.05
Принятие риска	0.37*	-0.36*	0.20	0.09
Жизнестойкость (общий балл)	0.44*	-0.39*	0.00	0.30*

Примечание: * $p < 0.05$

Тем не менее, делать вывод о том, что чем сильнее выражен какой-либо личностный ресурс, тем выше и стабильнее достижения в профессиональном виде деятельности



сти, преждевременно. Результаты, полученные для белорусской выборки, показывают, что связь среднего балла прослеживается только с общим баллом самоактивации и ее двумя шкалами, а дисперсия оценок (стабильность результата) связана только с общим баллом жизнестойкости, но направление связи противоположно направлению связи по российской выборке. Так как при вычислении большого числа корреляций статистически значимые связи можно получить совершенно случайно [5], ограничимся рассмотрением тех взаимосвязей, которые совпадают в обеих выборках. Их оказалось всего три (табл. 3, выделены жирным шрифтом), и все три указывают на то, что наблюдается умеренная положительная взаимосвязь между самоактивацией и средним баллом успеваемости, что может служить некоторым подтверждением критериальной валидности методики, так как предполагалось, что чем выше самоактивация, тем успешнее будет человек в учебной деятельности, которая требует активизации личностных ресурсов при преодолении трудностей.

Вопрос по дискриминантной валидности методики самоактивации может возникнуть при рассмотрении корреляций с другими аналогичными конструктами (самоконтроль, личностный динамизм, жизнестойкость). Результаты исследований [9, 12] показывают, что практически все шкалы методики самоактивации, а также общий балл существенно коррелируют со всеми измеренными личностными ресурсами (табл. 4), и особенно с жизнестойкостью. Это может вести к предположению, что эти конструкты являются дублирующими. Действительно, жизнестойкость характеризует способность личности выдерживать стрессовую ситуацию, сохраняя внутреннюю сбалансированность и не снижая успешность деятельности [7], и самоактивация предполагает направленность на сохранение оптимального эмоционального и физического состояния (вера в свои возможности, вопреки ограничениям и вызовам). Тем не менее, самоактивация предполагает внутреннюю произвольную активность личности, часто направленную на создание тех самых ситуаций вызова, которые могут вызывать стресс, а затем на успешное преодоление этих ситуаций и обеспечение успешности деятельности в них, что связывает конструкты самоактивации и жизнестойкости и объясняет их тесную корреляцию. Если взять в качестве примера учебную деятельность, то студент с высокой самоактивацией предпочтет сдавать экзамен (с возможностью получить как более высокий, так и более низкий балл), чем получить гарантированную среднюю оценку. Студент с высокой жизнестойкостью справится с экзаменом так же хорошо, если обнаружит по-другому сформулированные вопросы или необычные задачи.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции Пирсона шкал методики самоактивации с личностными ресурсами: жизнестойкость, личностный динамизм, самоконтроль для выборок РБ / РФ (цит. по [9, 12])

	Шкала самостоятельности	Шкала физической активации	Шкала психической активации	Самоактивация (итоговый балл)
Самоконтроль	0.30 / 0.25	0.30 / 0.36	0.46 / 0.38	0.42 / 0.40
Личностный динамизм	0.37 / 0.45	0.36 / 0.42	0.52 / 0.60	0.50 / 0.59
Жизнестойкость	0.50 / 0.58	0.50 / 0.57	0.67 / 0.63	0.68 / 0.72

Примечание. Жирным шрифтом выделены умеренные и сильные статистически значимые связи



Для проверки важности выделения различных личностных ресурсов и для проверки инкрементной валидности был проведен регрессионный анализ, в котором зависимой переменной выступал средний балл успеваемости, а независимыми переменными – измеряемые личностные ресурсы (суммарные баллы). Так как самой серьезной альтернативой самоактивации является жизнестойкость (наибольшие коэффициенты корреляции получены именно между этими методиками), сначала был проведен регрессионный анализ для всех независимых переменных, кроме самоактивации, затем в анализ добавлялась самоактивация для оценки изменения коэффициента детерминации. Результаты представлены в табл. 5

Таблица 5

Результаты регрессионного анализа для прогнозирования успеваемости на основании жизнестойкости, личностного динамизма и самоконтроля и на основании жизнестойкости, личностного динамизма, самоконтроля и самоактивации

Показатель	Выборка			
	РБ		РФ	
	БЕТА	р	БЕТА	р
Свободный член		<0,0001		<0,0001
Жизнестойкость (общий балл)	0,19	0,4081	0,27	0,1617
Личностный динамизм	-0,24	0,2236	-0,07	0,7411
Самоконтроль	0,23	0,2735	0,52	0,0074
Коэффициент детерминации R^2	0,09		0,40	
Свободный член		0,0003		0,0003
Жизнестойкость (общий балл)	-0,07	0,7679	0,23	0,2046
Личностный динамизм	-0,29	0,1314	-0,35	0,1361
Самоконтроль	0,24	0,2391	0,44	0,0168
Самоактивация (общий балл)	0,42	0,0465	0,48	0,0317
Коэффициент детерминации R^2	0,18		0,50	

Аналогично, был проведен регрессионный анализ для всех независимых переменных, кроме жизнестойкости, затем в анализ добавлялась жизнестойкость для оценки изменения коэффициента детерминации. Результаты представлены в табл. 6.



Таблица 6

Результаты регрессионного анализа для прогнозирования успеваемости на основании самоактивации, личностного динамизма и самоконтроля и на основании самоактивации, личностного динамизма, самоконтроля и жизнестойкости

Показатель	Выборка			
	РБ		РФ	
	БЕТА	р	БЕТА	р
Свободный член		0,0001		0,0001
Личностный динамизм	-0,31	0,0946	0,13	0,4301
Самоконтроль	0,21	0,2339	0,38	0,0352
Самоактивация (общий балл)	0,39	0,0308	0,30	0,1073
Коэффициент детерминации R^2	0,18		0,45	
Свободный член		0,0003		0,0003
Личностный динамизм	-0,29	0,1314	0,23	0,2046
Самоконтроль	0,24	0,2391	0,44	0,0168
Самоактивация (общий балл)	0,42	0,0465	0,48	0,0317
Жизнестойкость (общий балл)	-0,07	0,7679	-0,35	0,1361
Коэффициент детерминации R^2	0,18		0,50	

Результаты анализа показывают, что при добавлении самоактивации в модель коэффициент детерминации увеличивается примерно на 0.10 (табл. 5), что говорит о росте объясненной дисперсии примерно на 10%, причем это характерно как для белорусской ($\delta=0.09$), так и для российской выборки ($\delta=0.10$). При рассмотрении обратной ситуации, то есть того, что может дать введение жизнестойкости в модель прогнозирования среднего балла, оказалось, что изменение коэффициента детерминации крайне мало (табл. 6), причем это характерно как для белорусской ($\delta=0.00$), так и для российской выборки ($\delta=0.05$). Эти результаты свидетельствуют о том, что конструкт самоактивации отражает психологическую реальность, отличную от жизнестойкости, и, по крайней мере, обладает некоторой инкрементной валидностью. Возможно, жизнестойкость обладает инкрементной валидностью по отношению к другим зависимым показателям, например, адаптации, стабилизации эмоциональных состояний при стрессах и т.п., что требует дальнейших исследований.

4. ВЫВОДЫ

Таким образом, для измерения самоактивации как психологического конструкта, предполагающего внутреннюю произвольную активность личности и включающего самостоятельность, физическую активацию и психологическую активацию, была предложена методика, которая обладает хорошими психометрическими характери-



стиками. Тем не менее, так как при разработке методик нечасто встречается проверка таких видов валидности, как критериальная, дискриминантная и инкрементная, одной из целей данной работы было провести дополнительную проверку этих видов валидности для разработанной методики. Второй целью являлось применение теории латентных черт (IRT) для методики самоактивации. Результаты применения IRT показали, что все вопросы методики имеют дискриминативность не ниже умеренной. Графическое представление информационной функции показывает, что для шкалы самостоятельности точность оценки невысока для самых низких значений и резко падает для самых высоких значений, что говорит о том, что высокая самостоятельность измеряется с помощью данного измерительного инструмента недостаточно точно. Средние значения самостоятельности измеряются точно, а низкие – лучше, чем высокие. Аналогичная ситуация наблюдается и для двух других шкал методики: физической активации и психологической активации. Наилучшие показатели получены для шкалы психологической активации кривая для этой шкалы имеет самый большой плоский участок, и диапазон измерений высокой точности самый большой. В то же время, довольно высокие значения информационной функции в диапазоне 3 до 2 позволяют утверждать, что измерения компонентов самоактивации является довольно точным от низких значений до значений, существенно выше среднего, и только самые высокие значения (>2) измеряются недостаточно точно. Таким образом, можно определить, в каком именно диапазоне измерения самоактивации отражают реальность точнее.

Результаты исследования также показали, что наблюдается умеренная положительная взаимосвязь между самоактивацией и средним баллом успеваемости, что может служить некоторым подтверждением критериальной валидности методики, так как предполагалось, что чем выше самоактивация, тем успешнее будет человек в учебной деятельности, которая требует активизации личностных ресурсов при преодолении трудностей.

Дискриминантная валидность методики самоактивации проверялась при рассмотрении корреляций с другими схожими конструктами (самоконтроль, личностный динамизм, жизнестойкость). Результаты регрессионного анализа показывают, что при добавлении самоактивации в модель объясненная дисперсия увеличивается примерно на 10%, причем это характерно для двух разных выборок. При рассмотрении обратной ситуации, то есть того, что может дать введение жизнестойкости в модель прогнозирования среднего балла, оказалось, что изменение коэффициента детерминации крайне мало, что свидетельствует о том, что конструкт самоактивации отражает психологическую реальность, отличную от жизнестойкости, и, по крайней мере, обладает некоторой инкрементной валидностью.

Литература

1. Аванесов В.С. Истоки и основные понятия математической теории педагогических измерений (Item Response Theory) // Педагогические Измерения 2007. № 3. С. 3–36
2. Алексеева Л.Ф. Роль активности субъектов деятельности в развитии личностных качеств // Вестник Бурятского Государственного университета. 2009. № 5. С. 3–6.



3. Гордеева Т.О., Осин Е.Н., Сучков Д.Д., Иванова Т.Ю., Сычев О.А., Бобров В.В. Самоконтроль как ресурс личности: диагностика и связи с успешностью, настойчивостью и благополучием // Культурно-историческая психология. 2016. № 12(2). С. 46–58. doi:10.17759/chp.2016120205.
4. Карданова Е.Ю. Преимущества современной теории тестирования по сравнению с классической теорией тестирования // Вопросы тестирования в образовании. 2004. № 10. С. 7–34.
5. Кричевец А.Н. Проще простого. Как не надо относиться к статистике // Социальная психология и общество. 2018. Т. 9. № 3. С. 208–212. doi:10.17759/sps.2018090320
6. Крокер Л., Джеймс А. Введение в классическую и современную теорию тестов. М.: Логос, 2010.
7. Леонтьев Д.А., Рассказова Е.И. Тест жизнестойкости. М.: Смысл, 2006.
8. Нейман Ю.М., Хлебников В.А. Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. М.: Прометей, 2000.
9. Одинцова М.А., Радчикова Н.П. Разработка методики самоактивации личности // Психологические исследования. 2018. Т. 11. № 58. С. 12.
10. Осин, Е.Н., Рассказова, Е.И. Краткая версия теста жизнестойкости: психометрические характеристики и применение в организационном контексте // Вестник Моск. ун-та Сер. 14. Психология. 2013. № 2. С. 147–165.
11. Осницкий А.К. Регуляторный опыт – основа субъектной активности человека // Теоретическая и экспериментальная психология. 2008. Т. 1. №2. С. 17–34.
12. Радчикова Н.П., Одинцова М.А., Козырева Н.В. Методика самоактивации личности: адаптация на белорусской выборке // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Е. 2017. № 15. С. 77–82.
13. Сапронов Д.В., Леонтьев Д.А. Личностный динамизм и его диагностика // Психологическая диагностика. 2007. № 1. С. 66–84.
14. Baker F.B. The Basis of Item Response Theory, 2nd edn. ERIC Clearinghouse on Assessment and Evaluation, College Park, 2001.
15. Hattie J. Methodology review: Assessing unidimensionality of tests and items // Applied Psychological Measurement. 1985. № 9. С. 139–64. doi 10.1177/014662168500900204.
16. Kang T., Chen T.T. Performance of the generalized S-X2 item fit index for polytomous IRT models // Journal of Educational Measurement. 2008. № 45(4). С. 391–406. doi 10.1007/s12564-010-9082-4.
17. Samejima F. Graded Response Model. In W.J. van der Linden, R.K. Hambleton (Eds.). Handbook of Modern Item Response Theory. New York, NY: Springer, 1997.



Personal Self-Activation Inventory: an Experience of Item Response Theory Application

Nataly P. Radchikova*

Moscow State University of Psychology & Education
Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5139-8288>
e-mail: nataly.radchikova@gmail.com

Maria A. Odintsova**

Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3106-4616>
e-mail: mari505@mail.ru

Personal self-activation inventory that measures a psychological construct reflecting person's internal voluntary activity is considered in the article. The inventory includes three components (scales): independence, physical activation and psychological activation. In the framework of the Item Response Theory (IRT), the model of graded responses was applied. It is shown that all questions of the inventory have the discriminability not lower than moderate. The graphs of the information function for each scale indicate that the measurements of the self-activation components are fairly accurate in the range from low values to values significantly higher than the mean, and only the highest values (exceeding the mean by two standard deviations or more) are not measured accurately. A moderate positive correlation between self-activation and the average grade can serve as verification of the inventory criterion validity. Discriminant validity estimation, which was carried out by calculating correlations with other similar constructs (self-control, personal dynamism, hardiness), showed that hardiness is the most similar to self-activation construct. Incremental validity estimation has shown that when self-activation is added to the prediction model of performance based on personal resources, the variance explained is increased much more than by adding hardiness. This indicates that the self-activation construct has some incremental validity and reflects a psychological reality that is different from the construct of hardiness.

Keywords: self-activation, personal resources, criterion validity, discriminant validity, incremental validity, Item Response Theory (IRT).

* ***Nataly P. Radchikova***, PhD (Psychology), Leading Researcher of Scientific and Practical Center for Comprehensive Support of Psychological Research «PsyDATA», Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia; Associate Professor of the Department of Developmental Psychology, Faculty of Pre-School Pedagogy and Psychology, Moscow Pedagogical State University; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5139-8288>, e-mail: nataly.radchikova@gmail.com

** ***Maria A. Odintsova***, PhD (Psychology), Head of the Chair of Psychology and Pedagogy of Distance Learning, Faculty of Distance Learning, Moscow State University of Psychology & Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3106-4616>, e-mail: mari505@mail.ru



Acknowledgements. The authors are grateful to Kozyreva N.V., the assistant professor of the Institute of Psychology of Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank, for assistance in data collection.

For citation:

Radchikova N.P., Odintsova M.A. Personal Self-Activation Inventory: an Experience of Item Response Theory Application. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2021. Vol. 11, no. 3, pp. 19–35. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110302> (In Russ., abstr. in Engl.).

References

1. Avanesov V.S. Istoki i osnovnye ponyatiya matematicheskoi teorii pedagogicheskikh izmerenii (Item Response Theory) [Sources and basic concepts of Item Response Theory]. *Pedagogicheskie Izmereniya [Educational Measurements]*, 2007, no. 3, pp. 3–36. (In Russian)
2. Alekseeva L.F. Rol' aktivnosti sub'ektov deyatel'nosti v razvitiy lichnostnykh kachestv [Role of the activity of the subjects of activity in the development of the personal qualities]. *Vestnik Buryatskogo Gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Buryat State University]*, 2009, no 5, pp. 3–6. (In Russian; abstract in English)
3. Gordeeva T.O., Osin E.N., Suchkov D.D., Ivanova T.Yu., Sychev O.A., Bobrov V.V. Samokontrol' kak resurs lichnosti: diagnostika i svyazi s uspeshnost'yu, nastoichivost'yu i blagopoluchiem [Self-control as a personality resource: assessment and associations with performance, persistence and well-being]. *Kul'turno-istoricheskaya psikhologiya [Cultural-Historical Psychology]*, 2016, no. 12(2), pp. 46–58. doi:10.17759/chp.2016120205. (In Russian; abstract in English)
4. Kardanova E.Yu. Preimushchestva sovremennoi teorii testirovaniya po sravneniyu s klassicheskoi teoriei testirovaniya [Advantages of the modern theory of testing in comparison with the classical theory of testing]. *Voprosy testirovaniya v obrazovanii [Testing Issues in Education]*, 2004, no 10, pp. 7–34. (In Russian)
5. Krichevets A.N. Proshche prostogo. Kak ne nado odnosit'sya k statistike [Easy as pie. How not to treat statistics]. *Sotsial'naya psikhologiya i obshchestvo [Social psychology and society]*, 2018, vol. 9, no 3, pp. 208–212. doi 10.17759/sps.2018090320. (In Russian; abstract in English)
6. Kroker L., Dzheims A. Vvedenie v klassicheskuyu i sovremennuyu teoriyu testov [Croker L., James A. Introduction to Classical and Modern Test Theory]. Moscow: Logos, 2010, 663 p. (In Russian)
7. Leont'ev D.A., Rasskazova E.I. Test zhiznestoikosti [Hardiness test]. Moscow: Smysl, 2006, 63 p. (In Russian)
8. Neiman Yu.M., Khlebnikov V.A. Vvedenie v teoriyu modelirovaniya i parametrizatsii pedagogicheskikh testov [Introduction to the theory of modeling and parameterization of pedagogical tests]. Moscow: Prometei, 2000, 169 p. (In Russian)
9. Odintsova M.A., Radchikova N.P. Razrabotka metodiki samoaktivatsii lichnosti [The development of personal self-activation inventory]. *Psikhologicheskie issledovaniya [Psychological Investigations]*, 2018, vol. 11, no 58, pp. 12. (In Russian; abstract in English)
10. Osin, E.N., Rasskazova, E.I. Kratkaya versiya testa zhiznestoikosti: psikhometricheskie kharakteristiki i primenenie v organizatsionnom kontekste [Short version of hardiness test: psychometric characteristics and application in organizational context]. *Vestnik Mosk. un-ta Ser. 14. Psikhologiya [Moscow University Psychology bulletin]*, 2013, no. 2, pp. 147–165. (In Russian)
11. Osnitskii A.K. Regulyatornyi opyt – osnova sub'ektnoi aktivnosti cheloveka [Regulatory experience as a basis of the human subject activity]. *Teoreticheskaya i eksperimental'naya psikhologiya [Theoretical and Experimental Psychology]*, 2008, vol. 1, no. 2, pp. 17–34. (In Russian; abstract in English)



12. Radchikova N.P., Odintsova M.A., Kozyreva N.V. Metodika samoaktivatsii lichnosti: adaptatsiya na belorusskoi vyborke [Personal self-activation inventory: standardization on Belarusian sample]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya E [Vestnik of Polotsk State University. Part E]*, 2017, no. 15, pp. 77–82. (In Russian; abstract in English).
13. Sapronov D.V., Leont'ev D.A. Lichnostnyi dinamizm i ego diagnostika [Personal dynamism and its diagnostics]. *Psikhologicheskaya diagnostika [Psychological Diagnostics]*. 2007, no 1, pp. 66–84. (In Russian).
14. Baker F.B. *The Basis of Item Response Theory*, 2nd edn. ERIC Clearinghouse on Assessment and Evaluation, College Park, 2001.
15. Hattie J. Methodology review: Assessing unidimensionality of tests and items. *Applied Psychological Measurement*, 1985, no. 9, pp. 139–64. doi 10.1177/014662168500900204.
16. Kang T., Chen T.T. Performance of the generalized S-X² item fit index for polytomous IRT models. *Journal of Educational Measurement*, 2008, no 45(4), pp. 391–406. doi 10.1007/s12564-010-9082-4.
17. Samejima F. Graded Response Model. In W.J. van der Linden, R.K. Hambleton (Eds.). *Handbook of Modern Item Response Theory*. New York, NY: Springer, 1997.

Проблемы построения и анализа упорядоченных сетей частных корреляций в психологических исследованиях

*Артеменков С.Л.**

Московский государственный психолого-педагогический университет
(ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-2209>
e-mail: slart@inbox.ru

В контексте сетевого моделирования психологические переменные понимаются как непосредственно влияющие друг на друга, а не как следствие латентных конструктов. Эффективная оценка сетей, показывающих связи между измеренными переменными, может быть осуществлена с помощью методов регуляризации сети частных корреляций. В настоящей статье приведен пример построения в программной среде R регуляризованной сети частных корреляций (показывающей взаимосвязи личностных особенностей подростков с их поведением в виртуальном пространстве на примере социальной сети «ВКонтакте») и рассмотрены особенности построения и анализа упорядоченных сетей частных корреляций. Приведен список потенциальных проблем, возникающих при использовании рассматриваемой сетевой методологии. Учтены вопросы, относящиеся к размеру выборки и воспроизводимости сети, трудностям в интерпретации сетей и сравнению различных сетей между собой, включая как сетевые модели, так и модели латентных переменных.

Ключевые слова: корреляционный анализ, сети частных корреляций, регуляризация, моделирование сетей в психологии, визуализация, язык R.

Для цитаты:

Артеменков С.Л. Проблемы построения и анализа упорядоченных сетей частных корреляций в психологических исследованиях // Моделирование и анализ данных. 2021. Том 11. № 3. С. 36–56. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110303>

**Артеменков Сергей Львович*, кандидат технических наук, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-2209>, e-mail: slart@inbox.ru



1. ВВЕДЕНИЕ

Сетевое моделирование частных корреляций является одним из успешных путей изучения связей между психологическими переменными, которые рассматриваются как непосредственно влияющие друг на друга [1, 2]. Как показано в работе [1] для построения сетей частных корреляций, а также для оценки и интерпретации их разреженной структуры используются методы регуляризации. В частности, в [1] представлен обзор процедуры регуляризации глассо с использованием выбора модели EBIC для оценки упорядоченной разреженной сети частных корреляций и рассмотрены вопросы выполнения этой процедуры в R при наличии нормального и не нормального распределения данных с учетом влияния гиперпараметра, который устанавливается исследователем вручную. Представленный подход построений сетей интересен в качестве способа визуализации возможных каузальных связей между переменными.

Цель данной статьи состоит в том, чтобы привести пример построения сети частных корреляций для данных конкретного исследования (взаимосвязи личностных особенностей подростков с их поведением в виртуальном пространстве на примере социальной сети «ВКонтакте») [8] с вычислениями, выполненными в языке программирования R, и более подробно рассмотреть вопросы и проблемы, возникающие при сетевом корреляционном анализе в области психологии. В частности, обсуждаются: вопросы влияния размера выборки на форму сети, особенности воспроизводимости сетей, трудности в интерпретации сетей и вопросы сравнение сетей разного типа. Представленные положения и выводы основаны как на отечественных исследованиях [3, 5–9], так и на ряде зарубежных работ [14, 17, 18].

2. ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ

Приводимый ниже пример относится к оценке сети, показывающей взаимосвязи личностных особенностей подростков с их поведением в виртуальном пространстве (на примере социальной сети «ВКонтакте») [8]. В выявлении этих связей состояла одна из задач исследования [8]. Рассматриваемый нами подход по построению сетей частных корреляций позволяет наглядно представить возможные связи между личностными особенностями и способами самопрезентации подростков в социальной сети «ВКонтакте».

Сетевые построения ниже основаны на данных измерений 31 переменной для 81 испытуемого. Измеренные показатели (индикаторы) включают возраст подростков, 9 показателей их персональных страниц, а также 21 показатель личностных особенностей: 10 индикаторов по модифицированному опроснику для идентификации типов акцентуаций характера у подростков (МПДО) А.Е. Личко; 2 – по методике субъективной оценки ситуативной и личностной тревожности Ч.Д. Спилбергера (в адаптации Ю.Л. Ханина); 5 – по тест-опроснику К. Томаса «Стиль поведения в конфликтной ситуации» (в адаптации Н.В. Гришиной); 4 – по методике самооценки психических состояний Г. Айзенка.



В таблице 1 ниже приведены обозначения всех переменных сети вместе с указанием цвета соответствующих узлов в представленных далее изображениях сетей частных корреляций.

Сетевой анализ, представленный ниже, был выполнен в версии 4.0.4 R и RStudio 1.4.1106 с помощью пакета `qgraph` [16], который, в свою очередь, использует пакет `glasso` [26]. Функция `cor_auto` из пакета `qgraph` используется для получения необходимых корреляций. Эта функция автоматически определяет порядковые переменные (переменные, содержащие до семи уникальных целочисленных значений) и использует пакет `lavaan` [41] для оценки полихорических и полисерийных корреляций. Аргумент `tuning` в операторе `graph` позволяет установить гиперпараметр EBIC, γ , равным от 0 до 0,5.

После оценки корреляций структуру сети можно получить с помощью кода `results$graph` и сеть может быть построена и визуализирована с использованием метода `plot`. Ребра сети с положительными и отрицательными корреляциями обозначаются разным цветом (соответственно зеленым и красным на дальнейших рисунках). Отметим, что для дальтоникиков удобно вместо зеленого цвета использовать синий цвет.

Таблица 1

Наименования и краткие обозначения узлов сети

№	Название фактора	Символ	Группа и цвет
1	Возраст	AG	Возраст
2	К-во подписчиков	P1	Соцсети
3	Частота посещения	P2	
4	Кол-во записей на стене	P3	
5	Кол-во групп	P4	
6	Кол-во фото	P5	
7	Кол-во альбомов	P6	
8	Кол-во комментариев к фото	P7	
9	Кол-во друзей	P8	
10	Кол-во школ у друзей	P9	
11	Гипертимный тип	C1	
12	Циклоидный тип	C2	
13	Лабильный тип	C3	
14	Астено-невротический тип	C4	
15	Сенситивный тип	C5	
16	Тревожно-педантический	C6	
17	Интровертированный тип	C7	
18	Возбудимый тип	C8	
19	Демонстративный тип	C9	
20	Неустойчивый тип	CN	



№	Название фактора	Символ	Группа и цвет
21	Ситуативная тревожность	S1	Тест Спилбергера
22	Личная тревожность	S2	
23	Соперничество	T1	Тест Томаса
24	Сотрудничество	T2	
25	Компромисс	T3	
26	Избегание	T4	
27	Приспособление	T5	
28	Тревожность	A1	Тест Айзенка
29	Фрустрация	A2	
30	Агрессивность	A3	
31	Ригидность	A4	

Узлы на двумерном изображении сети размещаются с использованием модифицированной версии алгоритма Fruchterman-Reingold [27]. Этот алгоритм направлен на информативное размещение узлов путем позиционирования более сильно связанных узлов ближе друг к другу. Недостатком алгоритма является то, что он может вести себя достаточно хаотично: каждые конкретные условия приводят к одному точному расположению узлов, но небольшие различия во входных условиях (например, разница в 0,01 в весе ребра или использование другой компьютерной архитектуры) могут привести к совершенно другому расположению узлов (узлы, вероятно, будут располагаться примерно на одинаковом расстоянии друг от друга, но могут располагаться на другой стороне области построения). Таким образом, возможное размещение узлов на плоскости не может быть интерпретировано каким-либо существенным образом и может существенно различаться между двумя сетями, даже если в сетевых структурах есть только очень небольшие различия. Чтобы сравнить две сети, необходимо ограничить макет, чтобы он был одинаковым для обеих сетей. Один из способов сделать это - использовать параметр `averageLayout` из пакета `qgraph`.

Загрузка таблицы данных, имеющейся в формате Excel, в R осуществляется с помощью функции `read_excel`. При этом необходимо предварительно активировать библиотеку: `library(«readxl»)`. Загруженная в R матрица данных имеет обозначение `DataGPCSTA`. Ниже представлены использованные для построения сетей операторы языка R:

```
library(«qgraph»)  
corMat <- cor_auto(DataGPCSTA)  
Groups <- c(rep(«1 Возраст»,1), rep(«2 Факторы соцсети»,9),  
            rep(«3 Тест Личко»,10), rep(«4 Тест Спилбергера»,2),  
            rep(«5 Тест Томаса»,5), rep(«6 Тест Айзенка»,4))  
Graph_lasso <- qgraph(corMat, graph = «glasso», layout = «spring»,  
                    tuning = 0, sampleSize = nrow(DataGPCSTA),
```



groups = Groups, edge.labels = FALSE,
legend.cex = 0.5, vsize=5, GLratio = 2.5, layoutOffset = -0.1,
lambda.min.ratio=0.01, palette = «ggplot2»)

На рисунках 1-3 показаны итоговые сети, оцененные по трем различным значениям гиперпараметра $\text{tuning} = \gamma: 0, 0,25$ и $0,5$. Обозначения узлов соответствуют Таблице 1.

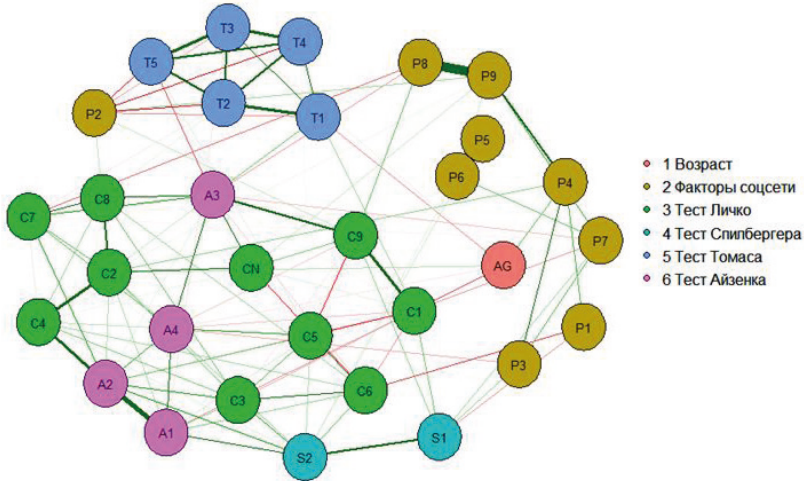


Рис. 1. Сеть частных корреляций, отражающая связи между личностными особенностями и способами самопрезентации подростков в социальной сети «ВКонтакте» для значения гиперпараметра $\gamma = 0$.

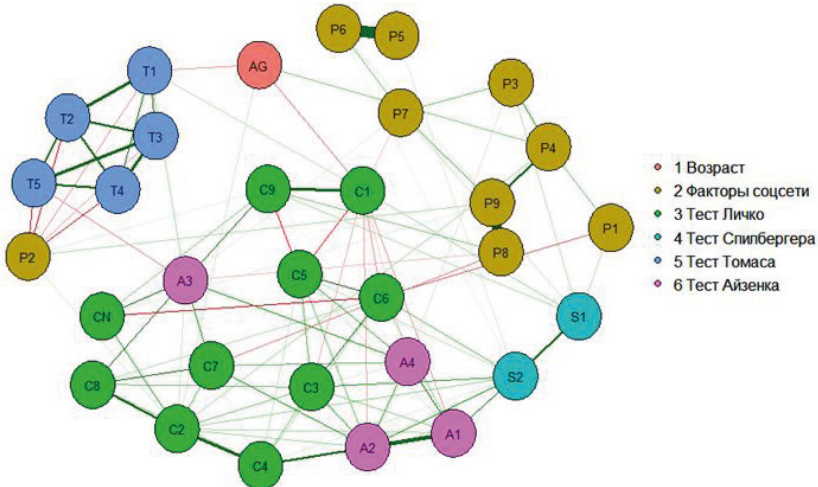


Рис. 2. Сеть частных корреляций, отражающая связи между личностными особенностями и способами самопрезентации подростков в социальной сети «ВКонтакте» для значения гиперпараметра $\gamma = 0,25$.

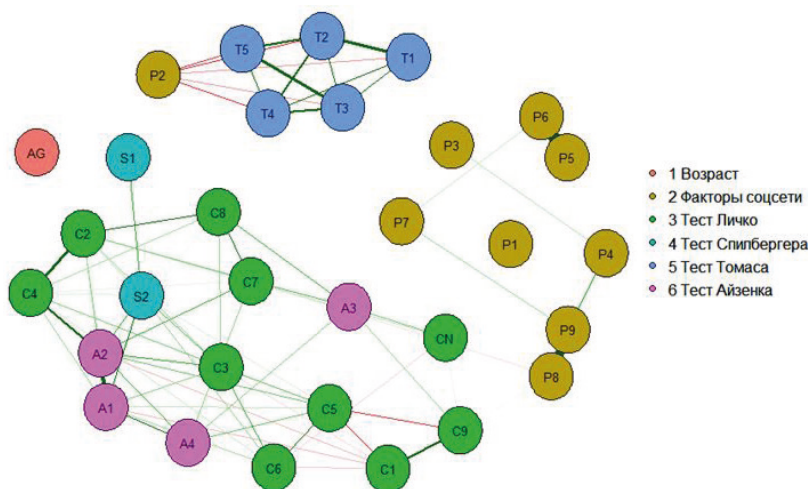


Рис. 3. Сеть частных корреляций, отражающая связи между личностными особенностями и способами самопрезентации подростков в социальной сети «ВКонтакте» для значения гиперпараметра $\gamma = 0,5$.

Как и ожидалось, сеть с наибольшим значением гиперпараметра имеет наименьшее число ребер. Величины частных корреляций можно показать на изображениях сетей, если в функции `qgraph` положить `edge.labels = TRUE`.

Из рисунков 1-3 видно, что связи между личностными особенностями (узлы P1-P9) и способами самопрезентации подростков в социальной сети «ВКонтакте» (все другие узлы кроме AG) невелики. В частности, можно говорить о том, что эти связи, оставшиеся на рисунке 3, включают: слабую отрицательную связь между интроверсией подростков C7 и количеством их друзей P8 (по-видимому, склонность к интроверсии может способствовать уменьшению количества друзей на персональной странице); слабые отрицательные связи между числом посещений персональной страницы P2 и всеми показателями по тест-опроснику Томаса T1-T5 (можно думать, что те, кто чаще посещают персональную страницу в принципе менее ориентированы на конфликты и их разрешение). Другие возможные связи, например, имеющиеся на рисунке 2, требуют отдельного рассмотрения.

Из рассмотрения сетей частных корреляций на рисунках 1-3 можно также оценить связи между отдельными социальными индикаторами и между отдельными показателями различных тестов-опросников. В частности, можно видеть кластеризацию соответствующих индикаторов. Например, четко просматривается кластер узлов, относящихся к пяти факторам тест-опросника Томаса.

В дополнение к изображениям сетей можно исследовать, насколько важны узлы в сети, используя меры, называемые индексами центральности. Рисунок 4 строится в результате выполнения функции `centralityPlot` и показывает центральность всех трех сетей, показанных на рисунках 1-3 (соответственно types 1-3 на рисунке 4):

```
centralityPlot(Graph_lasso, include = c(«Strength», «Betweenness», «Closeness»))
```

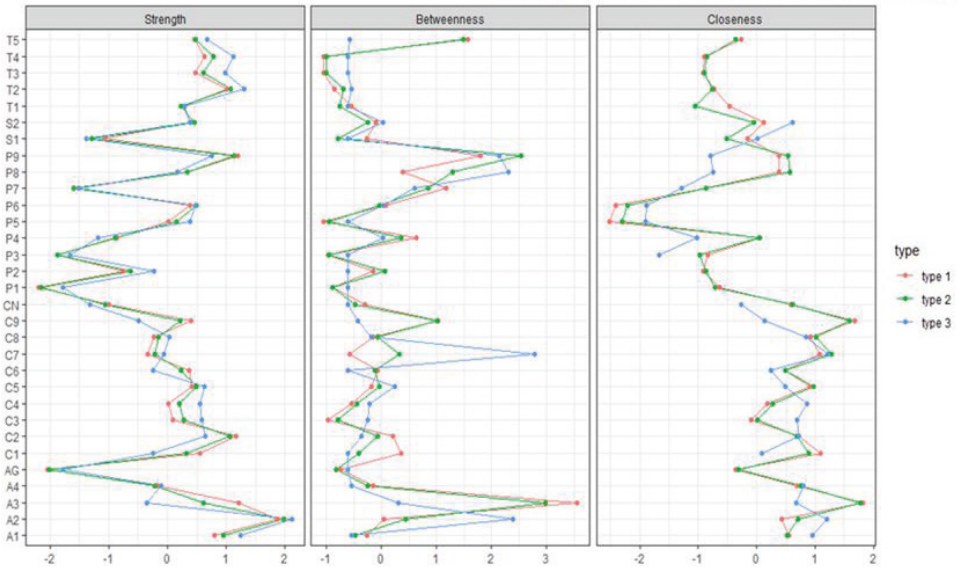


Рис. 4. Сила (Strength), промежуточность (Betweenness) и близость (Closeness) узлов трех сетей, показанных на рисунках 1–3 при увеличении гиперпараметра γ (type 1 – $\gamma = 0$; type 2 – $\gamma = 0,25$; type 3 – $\gamma = 0,5$). Индексы центральности построены с использованием стандартизованных z-оценок для облегчения интерпретации.

Три обычно используемых индекса центральности: сила узла (Strength на рисунке 4), которая определяется суммой абсолютных весов ребер, связанных с каждым конкретным узлом; близость (Closeness на рисунке 4), которая принимает значение, равное сумме расстояний от одного узла до всех других узлов в сети; и промежуточность (Betweenness на рисунке 4), которая определяет, как часто один узел находится в кратчайших путях между другими узлами. Подробный обзор этих мер и их интерпретация описаны в работах [14, 17, 36]. Все эти индексы показывают, насколько важны узлы в сети, а более высокие значения указывают на то, что эти узлы важнее.

3. РАЗМЕР ВЫБОРКИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ СЕТИ

Важной темой в психологических исследованиях является вопрос воспроизводимости их результатов [4, 35]. В частности, высоко размерная оценка исследовательской сети, представленная в этой статье, позволяет определять множество различных мер (например, веса ребер, сетевые структуры, индексы центральности), которые могут или не могут воспроизводиться или обобщаться по различным выборкам. Ряд работ указывают на важность воспроизводимости в сетевом моделировании психологических данных [17, 21, 23–25]. Однако, на практике определить воспроизводимость предполагаемой сети нелегко. На стабильность и точность результатов могут влиять многие факторы, такие как размер выборки, истинная структура сети и другие



характеристики данных. Большой объем выборки обычно является предпочтительным в статистических исследованиях. Вместе с тем в работе [10] показано, что даже большой размер выборки может приводить к нестабильным параметрам ребер.

Для любого статистического исследования вопрос размера выборки, как до, так и после сбора данных для анализа, является важным. Анализ размера выборки, который называют анализом мощности [13], обычно предполагает проведение расчета величины ожидаемого истинного эффекта. В сетевом моделировании аналогией ожидаемому размеру эффекта является ожидаемая взвешенная сеть: многомерное взаимодействие в структуре сети (нулевые и ненулевые ребра) и сила ребер (вес ненулевых ребер). Для сети частных корреляций из P узлов необходимо иметь предварительное ожидание $P(P-1)/2$ параметров (ребер), чтобы оценить, насколько хорошо ребра или любая описательная статистика, полученная из структуры сети, такая как индексы центральности, могут стабильно оценивать сетевую структуру с учетом определенного размера выборки.

При оценке структуры сети три свойства представляют первостепенный интерес [44]: чувствительность, специфичность и межсетевая корреляция между весами ребер истинной и предполагаемой сетей или между оценками центральности, основанными на истинной сети, и оценками центральности, основанными на оценочной сети. Чувствительность показывает долю ребер, присутствующих в истинной сети, которые были обнаружены в предполагаемой и называется истинно-положительным показателем. Специфичность показывает долю отсутствующих ребер в истинной сети, которые также были правильно обнаружены, чтобы быть отсутствующими ребрами в предполагаемой сети, и называется истинно-отрицательным показателем.

Исследователи обычно хотят, чтобы чувствительность увеличивалась с увеличением размера выборки и, предпочтительно, была бы высокой (хотя умеренная чувствительность может быть приемлемой, поскольку она, по крайней мере, указывает на обнаружение самых сильных ребер). Когда специфичность низкая, процедура оценки сети ошибочно обнаруживает множество ребер, которых нет в истинной сети (ложные срабатывания). В результате можно утверждать, что исследователи в первую очередь заинтересованы в получении высокой специфичности.

Указанная выше межсетевая корреляция (между весами ребер истинной и предполагаемой сетей или между оценками центральности, основанными на истинной сети, и оценками центральности, основанными на оценочной сети) показывает, насколько хорошо истинная структура сети и предполагаемая структура сети имитируют друг друга. Особенно, когда исследователь заинтересован в анализе структуры сети в целом (например, для анализа кратчайших путей), исследователь хочет, чтобы эта корреляция была большой.

В дополнение к этой корреляции, корреляции между индексами центральности истинной сети и оценочной сети также могут представлять интерес. Они могут быть маленькими, даже если весовые значения ребер оценены точно (например, когда значения какого-либо индекса центральности не слишком отличаются друг от друга в истинной сети), например, это промежуточность в сети, где все узлы завязаны в общее кольцо.



Имитационные исследования показали, что лассо-регуляризация сети обычно приводит к высокой специфичности даже при небольших выборках, в то время как чувствительность и межсетевая корреляция могут быть умеренными и увеличиваются с размером выборки [18, 22, 44]. Это означает, что всякий раз, когда используется лассо-регуляризация, можно интерпретировать ребра, которые обнаружены этим методом, как вероятные для представления ребер в истинной сети. Но следует учитывать, что метод может не обнаруживать некоторые истинные ребра. К сожалению, точные значения чувствительности, специфичности и различных межсетевых корреляций сильно зависят от ожидаемой структуры сети, подобно тому, как ожидаемый размер эффекта влияет на анализ мощности. В результате, определение необходимого размера выборки далеко не тривиально [17, 23].

Обычная рекомендация: для хорошей чувствительности и специфичности сети размер выборки должен быть в 10 и более раз больше количества анализируемых порядковых переменных (узлов сети). Для сетей с большой взаимной связностью узлов желательна выборка в 20 и более раз большая, чем число узлов сети. Для бинарных данных, анализируемых с помощью модели Изинга, это соотношение повышается до 30 и более раз [15, 44].

На практике это условие не всегда может иметь место. Например, в случае рассмотренного выше примера для социальной сети «ВКонтакте» эта рекомендация не выполнена, что, однако, не мешает общему построению и анализу сети с учетом сохранения ее достаточно высокой специфичности при умеренной чувствительности.

В целом были рекомендованы три пути решения проблемы воспроизводимости сети в том числе в связи с размером выборки. Первый путь связан с проведением дальнейших исследований, оценивающих сетевые модели на основе психологических данных. Это может прояснить, чего можно ожидать от истинной сетевой структуры, особенно если исследователи сделают статистические параметры своих сетевых моделей общедоступными. Второй и третий пути основаны на моделировании сетевых моделей в широком спектре потенциальных истинных сетевых структур, используя различные методы оценки, и моделировании данных в ожидаемой структуре сети, чтобы получить представление о необходимом размере выборки.

4. ТРУДНОСТИ В ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕТЕЙ

Регуляризация сетей может иногда приводить к сетевым структурам, которые трудно интерпретировать. Некоторые из общих проблем и вопросов, с которыми сталкиваются исследователи при оценке и интерпретации рассматриваемых сетевых моделей обсуждаются ниже.

4.1. Сеть не имеет или имеет очень мало ребер

Если предполагаемая сеть не имеет или имеет очень мало ребер, то это может произойти в маловероятном случае, когда представляющие интерес переменные не демонстрируют (частные) корреляции. Скорее всего, это происходит, когда размер выборки слишком мал для количества узлов в сети. Модель EBIC штрафует веса ре-



бер сети с учетом размера выборки, чтобы избежать ложноположительных связей [1]. Это означает, что с увеличением размера выборки N обычная сеть частных корреляций будет все больше и больше похожа на упорядоченную сеть частных корреляций. При меньшем N будет сохранено меньше ребер. В частности, сеть, показанная на рисунке 3, при уменьшении N будет в результате лишена каких-либо ребер.

Способ устранения этой проблемы состоит в том, чтобы установить гиперпараметр ниже. Но при этом надо учесть, что вероятность того, что сеть будет содержать ложные ребра увеличивается. Альтернативное решение состоит в том, чтобы уменьшить количество представляющих интерес переменных и оценить сеть на основе подмножества переменных, поскольку меньшее количество узлов означает, что оценивается меньшее количество параметров. Тем не менее, это может привести к тому, что не будут использоваться все доступные данные и произойдет тот или иной сбой условий на некоторых узлах.

4.2. Сеть плотно соединена

Сеть имеет большое количество ребер, включая много неожиданных отрицательных ребер и множество неправдоподобно высоких частных корреляций (например, больше 0,8). Поскольку метод лассо направлен на удаление ребер и возвращает относительно разреженную сеть, мы не ожидаем плотно связанных сетей в любых корреляционных данных, которые не являются чрезвычайно большими. Кроме того, мы не ожидаем, что многие частные корреляции будут такими высокими, поскольку (частные) корреляции выше 0,8 указывают на почти идеальную коллинеарность между переменными.

Эти структуры могут возникать, когда матрица корреляции, используемая в качестве входных данных, не является положительно определенной, что может происходить, когда выборка слишком мала или при оценке полихорических корреляций. Так же, как дисперсия должна быть положительной, матрица дисперсии-ковариации должна быть положительно определенной (все собственные значения выше нуля) или, по крайней мере, положительно полуопределенной (все собственные значения по крайней мере равны нулю). Однако, когда матрица дисперсии-ковариации оценивается попарно, не гарантируется, что результирующая матрица будет положительно определенной или положительно-полуопределенной.

Полихорические корреляционные матрицы оцениваются именно таким попарным образом. В случае отрицательно определенной корреляционной матрицы функция `cor_auto` при ее выполнении предупредит пользователя, когда он оценивает такую корреляционную матрицу, и попытается исправить это путем поиска ближайшей положительно определенной матрицы. Однако, эта матрица все еще может привести к очень нестабильным результатам.

Когда сеть выглядит очень сильно связанной с небольшим (если есть) количеством отсутствующих ребер и частными корреляциями вблизи 1 и -1, структура сети, вероятно, является результатом такой проблемы и не должна интерпретироваться. В этом случае, чтобы определить, является ли оценка полихорических корреляций источником соответствующей проблемы, рекомендуется всегда сравнивать сети, основанные на полихорических корреляциях, с сетями, основанными на корреляциях Спирмена (эти сети должны выглядеть похожими).



4.3. Появление неожиданных ребер

При построении сетей частных корреляций может возникнуть ситуация, когда в целом изображение сети выглядит ожидаемым (то есть сеть относительно разреженная), но некоторые ребра выглядят чрезвычайно сильными и/или неожиданно являются очень большими отрицательными. Эта проблема связана с предыдущей проблемой. Оценка полихорических корреляций основана на попарном пересечении переменных в упорядоченно-категориальном наборе данных. Когда размер выборки относительно мал, некоторые значения в ячейках таблицы частот попадания значений двух переменных в клетки корреляционной решетки могут быть низкими или даже нулевыми. Оценка полихорических корреляций основана на этих таблицах частот и смещается всякий раз, когда ожидаемая частота слишком мала (то есть ниже 10; [34]). Таким образом, низкие частоты пересечений данных могут привести к смещенным полихорическим корреляциям и к большим изменениям в оцененных частных корреляциях.

Другая ситуация, в которой можно получить низкие частоты пересечений данных, это когда измерения сильно искажены [40], что, к сожалению, часто имеет место в некоторых психологических данных (как, например, в психопатологии). Для выявления возможных искажений сеть, основанная на полихорических корреляциях, должна сравниваться с сетью, основанной на корреляциях Спирмена. Получение очень разных сетей скорее всего указывает на то, что оценка полихорических корреляций в конкретном случае может быть ненадежной.

4.4. Неожидаемые отрицательные ребра в сети

Сеть имеет отрицательные ребра там, где исследователь может ожидать положительные связи. Это может произойти, когда возникают условия работы связей на общий эффект [38]. Предположим, что исследователь измеряет три переменные: оценки студентов-психологов по последнему статистическому тесту, их мотивацию пройти тест и трудность теста [30]. Скорее всего, на оценку положительно влияют как меньшая трудность теста, так и мотивация ученика, и можно не ожидать какой-либо корреляции между мотивацией и трудностью: знание мотивации ученика не помогает предсказать, насколько трудным будет делать этот тест исследователь. Однако мы можем искусственно вызвать отрицательную частную корреляцию между мотивацией и легкостью выполнения теста, обуславливая общий эффект: если мы знаем, что немотивированный студент получил высокую оценку, то мы можем ожидать, что тест должен быть для него достаточно простым. Таким образом, отрицательные отношения могут возникать при наличии общих эффектов, и неожиданные негативные отношения (отрицательные связи в сети) могут указывать на общие структуры эффекта.

Другой случай, при котором могут возникнуть эти неожиданные отрицательные связи, соответствует наличию в исследовании такого показателя, который является определенной функцией от других измеряемых переменных. Это может происходить при введении показателя, связывающего отдельные переменные, что обеспечивает образование общего эффекта [33]. Например, одна из переменных может быть суммой баллов двух и более других переменных. В психологических измерениях такая пере-



менная часто используется в качестве обобщенного показателя тестирования (причем может служить общий суммарный балл по тесту креативности Торренса [6]).

При использовании этого суммарного показателя еще и для выбора людей, которые включаются в анализ (например, для исследования структуры сети субъектов с более выраженными симптомами по сравнению с субъектами с менее выраженными симптомами), выборка может оформляться путем выполнения некоторого условия по суммам (например, в нее включаются только люди с суммой баллов выше 10). На практике это приведет к ложным отрицательным ребрам в ожидаемой структуре сети [33].

Результаты, основанные на таких выборках, следует интерпретировать с осторожностью. В общем, это создает довольно любопытную проблему: с одной стороны, в процесс анализа исследователи хотят включить как можно больше переменных; с другой стороны, существует необходимость избегания ситуаций, которые создают общие эффекты. Важно отметить, что не следует ожидать возникновения отрицательных частных корреляций, если модель общей причины верна и все переменные оцениваются так, что факторные нагрузки являются положительными [29]. По существу, получение отрицательных связей там, где можно ожидать положительных связей, может представлять особый интерес для исследователя с точки зрения интерпретации полученных результатов.

5. СРАВНЕНИЕ СЕТЕЙ

При использовании сетевых моделей на основе упорядоченных сетей частных корреляций встает также вопрос о возможности сравнения двух разных групп людей (например, клинических пациентов и здоровых людей) с точки зрения количества связей или плотности (то есть количества ребер) полученных упорядоченных сетей. Ответ на этот вопрос зависит от различий в размере выборки. Как упоминалось ранее, EVC является функцией размера выборки: чем меньше размер выборки, тем экономнее структура сети. Это означает, что сравнение связности двух сетей имеет смысл, если они были оценены приблизительно для одного и того же размера выборки, и различия между сетями не следует сравнивать, если это предположение не выполняется [39].

Один из методов сравнения сетей основан на проведении перестановочного теста [45], в котором все данные сначала объединяются, а затем случайным образом распределяются по двум группам, в результате чего получается две оценочные сети. Повторение этого процесса несколько раз (например, 1000) приводит к распределению различий между сетями, учитывая, что две группы происходят из одной популяции. Это распределение может впоследствии использоваться для выполнения статистических тестов на различия в структуре сети между двумя группами. Перестановочный тест реализован в пакете R NetworkComparisonTest.

Сетевые модели и модели с латентными переменными

В целом представляет интерес вопрос сравнения сетевых моделей с моделями с латентными переменными. Этот общий вопрос относится к тому, насколько сильно



пересекаются рассмотренное выше сетевое моделирование и моделирование с помощью введения латентных переменных. Как известно, сетевое моделирование было предложено в качестве альтернативы моделированию латентных переменных [1, 2, 42]. Таким образом, возникает естественный вопрос, могут ли построение и регуляризация сетевой модели предоставить доказательства того, что данные действительно генерируются системой переменных, каузально влияющих друг на друга, а не моделью общей причины, где ковариация между переменными объясняется одним или несколькими латентными переменными [42]?

Краткий ответ на этот вопрос: нет. Несмотря на то, что упорядоченные психологические сети частных корреляций измеряемых переменных были введены в качестве альтернативной основы по отношению к моделированию латентных переменных и способны сильно изменить точку фокусировки исследователя с общей дисперсии на уникальную дисперсию между переменными [14], они не могут опровергнуть модель латентных переменных. Это связано с тем, что существует прямая эквивалентность между рассматриваемыми сетевыми моделями и моделями латентных переменных [18, 20, 31, 32, 46].

Латентная переменная, вызывающая ковариацию для нескольких элементов, должна приводить к полностью связанному кластеру элементов, если они моделируются как общая сеть. Однако, это не означает, что, когда предполагаемая сеть не содержит полностью связанных кластеров, модель латентной переменной должна быть ложной. По методу лассо появление ребра в сети может свидетельствовать о том, что ребро присутствует, но не удержание ребра не дает свидетельства того, что ребро отсутствует, потому что ребро просто не может быть оценено из-за недостатка мощности данных [19, 20].

При этом, то, что две модели эквивалентны, не означает, что они одинаково правдоподобны. Например, структура сети в форме решетки (узлы, упорядоченные в сетке и связанные только с соседями), эквивалентна некоторой модели латентных переменных. Но модель латентных переменных в этом случае сложна и очень неправдоподобна (в частности, для объяснения данных потребуется много латентных переменных [32]).

С другой стороны, даже если ожидается, что сетевая модель в значительной степени объяснит данные, вполне правдоподобно предположить, что какие-то латентные переменные могут вызывать какие-либо ковариации в сетевой модели [11, 20, 23]. В этом случае при наличии латентных переменных оценка причинно-следственных сетей на основе сетевой модели может привести к ошибочным причинным гипотезам. Эта проблема менее проблематична при оценке (ненаправленных) сетей частных корреляций, поскольку направление воздействия не связано с оцененными ребрами сети.

В целом для преодоления рассматриваемой проблемы необходимо разрабатывать методики объединения сетевого моделирования и моделирования с помощью латентных переменных, что позволит исследователям использовать сильные стороны одной структуры для преодоления слабых сторон другой структуры. Например, чтобы преодолеть появление ребер от действия латентных переменных, можно оце-



нить структуру остаточной сети после учета ковариации из-за одной или нескольких общих причин [11, 12, 20, 37]. Другим способом объединения сетевых моделей с моделями латентных переменных является использование латентных переменных в качестве узлов в сети (так называемая латентная сеть [20]). Этот способ может позволить справиться с потенциальной ошибкой измерения в наблюдаемых переменных и эффективно осуществить поиск модели структурных связей между латентными переменными [28]. Наконец, в настоящее время разрабатываются методы статистического сравнения упорядоченных сетей и сетевых моделей латентных переменных [43].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая статья представляет собой продолжение работы [1], посвященной основам построения психологических сетей частных корреляций с использованием популярного метода упорядочения оценок связей между узлами сети: регуляризация лассо с выбором модели EBIC. Приведен пример построения в программной среде R упорядоченной сети частных корреляций, показывающих взаимосвязи личностных особенностей подростков с их поведением в виртуальном пространстве (на примере социальной сети «ВКонтакте») [8]. Рассмотрены наиболее часто возникающие проблемы при оценке и интерпретации упорядоченных (регуляризованных) сетей частных корреляций. Описано как решать наиболее часто возникающие здесь проблемы.

Теоретические и практические вопросы, относящиеся к рассматриваемым сетям, связаны с: размером выборок и воспроизводимостью сетей; трудностями в интерпретации построенных сетей; сравнением различных сетей между собой.

Естественно, что размер выборки влияет на сетевые показатели: значения чувствительности сети и корреляции весовых коэффициентов увеличиваются с размером выборки. Чтобы правильно извлекать ребра и их веса, оценка Гауссовских графических моделей [1], как правило, требует размера выборки примерно в 10 раз больше, чем число измеренных сетевых переменных. При этом умеренная чувствительность и хорошая специфичность сети могут быть получены и для меньших выборок. Модель Изинга для бинарных данных [44] требует больших выборок для достижения умеренной чувствительности.

Обычные трудности в интерпретации сетей связаны с тем, что, с одной стороны, построенная сеть может иметь очень мало ребер или не иметь их вовсе, а с другой стороны, сеть может наоборот быть очень плотно соединена. Также можно столкнуться с появлением неожиданных ребер, которые к тому же могут быть достаточно большими отрицательными. Все эти особенности важно учитывать при построении упорядоченных сетей частных корреляций. Соответствующие ошибки требуют исправления с помощью изменения выборки и грамотного выбора управляющих параметров регуляризации.

Сравнение сетей показывает, что со статистической точки зрения существует прямая эквивалентность между рассматриваемыми сетевыми моделями и моделями латентных переменных. В этом отношении выбор сетевой модели и ее интерпретация существенным образом зависит от особенностей применяемого психологического подхода.



Литература

1. *Артеменков С.Л.* Упорядоченные сети частных корреляций в психологических исследованиях // *Моделирование и анализ данных*. 2021. № 2. С. 31–50.
2. *Артеменков С.Л.* Сетевое моделирование психологических конструктов // *Моделирование и анализ данных*. 2017. № 1. С. 9–28.
3. *Артеменков С.Л.* Инициально-семантическая модель дивергентной креативности [Электронный ресурс] // *Психологическая наука и образование psyedu.ru*. 2012. № 3. С. 1–15. URL: http://psyjournals.ru/psyedu_ru/2012/n3/55540.shtml.
4. *Вачков И.В., Вачкова С.Н.* Воспроизводимость психологических экспериментов как проблема постнеклассической науки // *Культурно-историческая психология*. 2016. Том 12. № 1. С. 97–101. doi:10.17759/chp.2016120110
5. *Жукова Е.С., Артеменков С.Л., Богоявленская Д.Б.* К вопросу о соотношении одаренности и осознанной саморегуляции. Личностные и регуляторные ресурсы достижения образовательных и профессиональных целей в эпоху цифровизации. Москва: Знание-М, 2020. С. 104–115. DOI: 10.38006/907345–50–8.2020.104.115.
6. *Жукова Е.С., Артеменков С.Л., Богоявленская Д.Б.* Исследование интеллектуальной активности в младшем школьном и подростковом возрасте / *Моделирование и анализ данных*. 2019. № 1. С. 11–29.
7. *Рубцова О.В., Панфилова А.С., Артеменков С.Л.* Исследование взаимосвязи личностных особенностей игроков подросткового и юношеского возраста с их поведением в виртуальном пространстве (на примере групповой компьютерной игры «Dota 2») // *Психологическая наука и образование*. 2018. Том 23. № 1. С. 137–148. doi:10.17759/pse.2018230112
8. *Рубцова О.В., Панфилова А.С., Смирнова В.К.* Исследование взаимосвязи личностных особенностей подростков с их поведением в виртуальном пространстве (на примере социальной сети «ВКонтакте») // *Психологическая наука и образование*. 2018. Т. 23. № 3. С. 54–66. doi: 10.17759/pse.2018230305
9. *Bogoyavlenskaya D., Joukova E., Artemenkov S.* Longitudinal Study Of The Creative Abilities // *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences (EpSBS)*, 2018. 14: 125–131. doi: <https://dx.doi.org/10.15405/epsbs.2018.11.02.14>.
10. *Borsboom D., Fried E., Epskamp S., Waldorp L., van Borkulo C., van der Maas H., & Cramer A.O.J.* Replicability of psychopathology networks: The right question but the wrong answer. a comment on “evidence that psychopathology symptom networks have limited replicability” by Forbes, Wright, Markon, and Krueger. *Journal of Abnormal Psychology*, 2017. 126, 989–999.
11. *Chandrasekaran V., Parrilo P.A., & Willsky A.S.* Latent variable graphical model selection via convex optimization (with discussion). *The Annals of Statistics*, 2012. 40, 1935–1967.
12. *Chen Y., Li X., Liu J., & Ying Z.* A fused latent and graphical model for multivariate binary data. arXiv preprint, arXiv, 2016. 1606.08925.
13. *Cohen J.* *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York, NY: Academic Press. 1977.
14. *Costantini G., Epskamp S., Borsboom D., Perugini M., Möttus R., Waldorp L.J., & Cramer A.O.J.* State of the aRt personality research: A tutorial on network analysis of personality data in R. *Journal of Research in Personality*, 2015. 54, 13–29.
15. *Epskamp S.* Brief Report on Estimating Regularized Gaussian Networks from Continuous and Ordinal Data. 2016. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1606.05771>
16. *Epskamp S., Cramer A., Waldorp L., Schmittmann V.D., & Borsboom D.* qgraph: Network visualizations of relationships in psychometric data. *Journal of Statistical Software*, 2012. 48, 1–18.



17. *Epskamp S., Borsboom D., Fried E.I.* Estimating psychological networks and their accuracy: a tutorial paper. *Behavior Research Methods*. 2018. 50, 195–212.
18. *Epskamp S., Fried E.I.* A tutorial on regularized partial correlation networks. *Psychological Methods*, 2018. 23(4), 617–634. <https://doi.org/10.1037/met0000167>.
19. *Epskamp S., Kruis J., & Marsman M.* Estimating psychopathological networks: Be careful what you wish for. *PloS ONE*, 2017. 12, e0179891.
20. *Epskamp S., Rhemtula M., & Borsboom D.* Generalized network psychometrics: Combining network and latent variable models. *Psychometrika*, 2017. 82, 904–927. <http://dx.doi.org/10.1007/s11336-017-9557-x>
21. *Forbes M.K., Wright A.G.C., Markon K., & Krueger R.* Evidence that psychopathology symptom networks have limited replicability. *Journal of Abnormal Psychology*, 2017. 126, 969–988.
22. *Foygel R., & Drton M.* Extended Bayesian information criteria for Gaussian graphical models. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2010. 23, 2020–2028.
23. *Fried E.I., & Cramer A.O.J.* Moving forward: Challenges and directions for psychopathological network theory and methodology. *Perspectives on Psychological Science*, 2017. 12, 999–1020. <http://dx.doi.org/10.1177/1745691617705892>
24. *Fried E.I., Eidhof M.B., Palic S., Costantini G., Huisman-van Dijk H.M., Bockting C.L.H., Engelhard I., Armour C., Nielsen A.B.S., & Karstoft K.-I.* Replicability and generalizability of posttraumatic stress disorder (PTSD) networks: A cross-cultural multisite study of PTSD symptoms in four trauma patient samples. *Clinical Psychological Science*, 2018. 6(3), 335–351. <https://doi.org/10.1177/2167702617745092>
25. *Fried E.I., van Borkulo C.D., Cramer A.O.J., Lynn B., Schoevers R.A., & Borsboom D.* Mental disorders as networks of problems: A review of recent insights. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 2017. 52, 1–10.
26. *Friedman J.H., Hastie T., & Tibshirani R.* *glasso*: Graphical lasso-estimation of Gaussian graphical models (R package version 1.8). 2014. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=glasso>
27. *Fruchterman T., & Reingold E.* Graph drawing by force-directed placement. *Software: Practice and Experience*, 1991. 21, 1129–1164.
28. *Guyon H., Falissard B., & Kop J.-L.* Modeling psychological attributes in psychology—an epistemological discussion: Network analysis vs. latent variables. *Frontiers in Psychology*, 2017. 8, 798.
29. *Holland P.W., & Rosenbaum P.R.* Conditional association and unidimensionality in monotone latent variable models. *The Annals of Statistics*, 1986. 14, 1523–1543.
30. *Koller D., & Friedman N.* *Probabilistic graphical models: Principles and techniques*. Cambridge, MA: MIT Press. 2009.
31. *Kruis J., & Maris G.* Three representations of the Ising model. *Scientific Reports*, 2016. 6, 34175.
32. *Marsman M., Maris G., Bechger T., & Glas C.* Bayesian inference for low-rank ISING networks. *Scientific reports*, 2015. 5(9050), 1–7.
33. *Muthén B.O.* Factor structure in groups selected on observed scores. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 1989. 42, 81–90.
34. *Olsson U.* Maximum likelihood estimation of the polychoric correlation coefficient. *Psychometrika*, 1979. 44, 443–460.
35. *Open Science Collaboration.* Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 2015. 349, aac4716 –aac4716.
36. *Opsahl T., Agneessens F., & Skvoretz J.* Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths. *Social Networks*, 2010. 32, 245–251.



37. Pan J., Ip E., & Dube L. An alternative to post-hoc model modification in confirmatory factor analysis: The Bayesian lasso. *Psychological Methods*, 2017. 22, 687–704.
38. Pearl J. *Causality: Models, reasoning, and inference*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.
39. Rhemtulla M., Fried E.I., Aggen S.H., Tuerlinckx F., Kendler K.S., & Borsboom D. Network analysis of substance abuse and dependence symptoms. *Drug and Alcohol Dependence*, 2016. 161, 230–237.
40. Rigdon E.E., & Ferguson C.E., Jr. The performance of the polychoric correlation coefficient and selected fitting functions in confirmatory factor analysis with ordinal data. *Journal of Marketing Research*, 1991. 28, 491–497.
41. Rosseel Y. lavaan: An R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software*, 2012. 48(2), 1–36.
42. Schmittmann V.D., Cramer A.O.J., Waldorp L.J., Epskamp S., Kievit R.A., & Borsboom D. Deconstructing the construct: A network perspective on psychological phenomena. *New Ideas in Psychology*, 2013. 31, 43–53.
43. van Bork R., Rhemtulla M., Waldorp L.J., Kruis J., Rezvanifar S. & Borsboom D. Latent Variable Models and Networks: Statistical Equivalence and Testability, *Multivariate Behavioral Research*, 2019. DOI: 10.1080/00273171.2019.1672515
44. van Borkulo C.D., Borsboom D., Epskamp S., Blanken T.F., Boschloo L., Schoevers R.A., & Waldorp L.J. A new method for constructing networks from binary data. *Scientific Reports*, 2014. 4(5918), 1–10.
45. van Borkulo C., Boschloo L., Kossakowski J., Tio P., Schoevers R., Borsboom D., & Waldorp L. Comparing network structures on three aspects: A permutation test. 2017. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29455.38569>
46. van Der Maas H.L., Dolan C.V., Grasman R.P., Wicherts J.M., Huizenga H.M., & Raijmakers M.E. A dynamical model of general intelligence: The positive manifold of intelligence by mutualism. *Psychological review*, 2006. 113, 842–861.



The Issues of Construction and Analysis of Ordered Partial Correlation Networks in Psychological Research

Sergei L. Artemenkov*

Moscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-2209>

e-mail: slart@inbox.ru

In the context of network modeling, psychological variables are understood as directly affecting each other, and not as a consequence of latent constructs. An efficient assessment of networks showing relationships between measured variables can be carried out using the methods of regularization of the network of partial correlations. This article provides an example of constructing a regularized network of partial correlations in the R software environment (it is showing the relationship between the personality traits of adolescents and their behavior in virtual space using the example of the social network VKontakte) and examines the features of constructing and analyzing ordered networks of partial correlations. A list of potential problems arising when using the considered network methodology is presented. The issues related to sample size and reproducibility of the network, difficulties in interpreting networks, and comparing different networks with each other, including both network models and models of latent variables, are considered.

Keywords: correlation analysis, partial correlation networks, regularization, network modeling in psychology, visualization, language R.

For citation:

Artemenkov S.L. The Issues of Construction and Analysis of Ordered Partial Correlation Networks in Psychological Research. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2021. Vol. 11, no. 3, pp. 36–56. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110303> (In Russ., abstr. in Engl.).

References

1. Artemenkov S.L. Ordered Partial Correlation Networks in Psychological Research. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2021. Vol. 11, no. 2, pp. 31–50. doi:10.17759/mda.2021110202. (In Russ., abstr. in Engl.)
2. Artemenkov S.L. Setevoye modelirovaniye psikhologicheskikh konstruktov // *Modelirovaniye i analiz dannykh*. 2017. № 1. S. 9–28.
3. Artemenkov S.L. Initsionno-semanticheskaya model' divergentnoy kreativnosti [Elektronnyy resurs] // *Psikhologicheskaya nauka i obrazovaniye psyedu.ru*. 2012. № 3. S. 1–15. URL: http://psyjournals.ru/psyedu_ru/2012/n3/55540.shtml.
4. Vachkov I.V., Vachkova S.N. Reproducibility of Psychological Experiments as a Problem of Post-Nonclassical Science. *Kul'turno-istoricheskaya psikhologiya = Cultural-Historical Psychology*, 2016. Vol. 12, no. 1, pp. 97–101. doi:10.17759/chp.2016120110. (In Russ., abstr. in Engl.)

***Sergei L. Artemenkov**, PhD in Engineering, Moscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1619-2209>, e-mail: slart@inbox.ru



5. Zhukova E.S., Artemenkov S.L., Bogoyavlenskaya D.B. K voprosu o sootnoshenii odarennosti i osoznannoy samoregulyatsii. Lichnostnyye i regulyatornyye resursy dostizheniya obrazovatel'nykh i professional'nykh tseyey v epokhu tsifrovizatsii. Moskva: Znaniye-M, 2020. S. 104–115. DOI: 10.38006/907345–50–8.2020.104.115.
6. Zhukova E.S., Artemenkov S.L., Bogoyavlenskaya D.B. Issledovaniye intellektual'noy aktivnosti v mladshem shkol'nom i podrostkovom vozraste / Modelirovaniye i analiz dannykh. 2019. № 1. S. 11–29.
7. Rubtsova O.V., Panfilova A.S., Artemenkov S.L. Relationship between Personality Traits and Online Behaviour in Adolescents and Young Adults: A Research on Dota 2 Players. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie = Psychological Science and Education*, 2018. Vol. 23, no. 1, pp. 137–148. doi:10.17759/pse.2018230112. (In Russ., abstr. in Engl.)
8. Rubtsova O.V., Panfilova A.S., Smirnova V.K. Research on Relationship between Personality Traits and Online Behaviour in Adolescents (With VKontakte Social Media as an Example). *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie = Psychological Science and Education*, 2018. Vol. 23, no. 3, pp. 54–66. doi:10.17759/pse.2018230305. (In Russ., abstr. in Engl.)
9. Bogoyavlenskaya D., Joukova E., Artemenkov S. Longitudinal Study Of The Creative Abilities // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences (EpSBS), 2018. 14: 125–131. doi: <https://dx.doi.org/10.15405/epsbs.2018.11.02.14>.
10. Borsboom D., Fried E., Epskamp S., Waldorp L., van Borkulo C., van der Maas H., & Cramer A.O.J. Replicability of psychopathology networks: The right question but the wrong answer. a comment on “evidence that psychopathology symptom networks have limited replicability” by Forbes, Wright, Markon, and Krueger. *Journal of Abnormal Psychology*, 2017. 126, 989–999.
11. Chandrasekaran V., Parrilo P.A., & Willsky A.S. Latent variable graphical model selection via convex optimization (with discussion). *The Annals of Statistics*, 2012. 40, 1935–1967.
12. Chen Y., Li X., Liu J., & Ying Z. A fused latent and graphical model for multivariate binary data. arXiv preprint, arXiv, 2016. 1606.08925.
13. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York, NY: Academic Press. 1977.
14. Costantini G., Epskamp S., Borsboom D., Perugini M., Mõttus R., Waldorp L.J., & Cramer A.O.J. State of the aRt personality research: A tutorial on network analysis of personality data in R. *Journal of Research in Personality*, 2015. 54, 13–29.
15. Epskamp S. Brief Report on Estimating Regularized Gaussian Networks from Continuous and Ordinal Data. 2016. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1606.05771>
16. Epskamp S., Cramer A., Waldorp L., Schmittmann V.D., & Borsboom D. qgraph: Network visualizations of relationships in psychometric data. *Journal of Statistical Software*, 2012. 48, 1–18.
17. Epskamp S., Borsboom D., Fried E.I. Estimating psychological networks and their accuracy: a tutorial paper. *Behavior Research Methods*. 2018. 50, 195–212.
18. Epskamp S., Fried E.I. A tutorial on regularized partial correlation networks. *Psychological Methods*, 2018. 23(4), 617–634. <https://doi.org/10.1037/met0000167>.
19. Epskamp S., Kruis J., & Marsman M. Estimating psychopathological networks: Be careful what you wish for. *PloS ONE*, 2017. 12, e0179891.
20. Epskamp S., Rhemtula M., & Borsboom D. Generalized network psychometrics: Combining network and latent variable models. *Psychometrika*, 2017. 82, 904–927. <http://dx.doi.org/10.1007/s11336-017-9557-x>
21. Forbes M.K., Wright A.G.C., Markon K., & Krueger R. Evidence that psychopathology symptom networks have limited replicability. *Journal of Abnormal Psychology*, 2017. 126, 969–988.
22. Foygel R., & Drton M. Extended Bayesian information criteria for Gaussian graphical models. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2010. 23, 2020–2028.



23. Fried E.I., & Cramer A.O.J. Moving forward: Challenges and directions for psychopathological network theory and methodology. *Perspectives on Psychological Science*, 2017. 12, 999–1020. <http://dx.doi.org/10.1177/1745691617705892>
24. Fried E.I., Eidhof M.B., Palic S., Costantini G., Huisman-van Dijk H.M., Bockting C.L.H., Engelhard I., Armour C., Nielsen A.B.S., & Karstoft K.-I. Replicability and generalizability of posttraumatic stress disorder (PTSD) networks: A cross-cultural multisite study of PTSD symptoms in four trauma patient samples. *Clinical Psychological Science*, 2018. 6(3), 335–351. <https://doi.org/10.1177/2167702617745092>
25. Fried E.I., van Borkulo C.D., Cramer A.O.J., Lynn B., Schoevers R.A., & Borsboom D. Mental disorders as networks of problems: A review of recent insights. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 2017. 52, 1–10.
26. Friedman J.H., Hastie T., & Tibshirani R. *glasso*: Graphical lasso-estimation of Gaussian graphical models (R package version 1.8). 2014. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=glasso>
27. Fruchterman T., & Reingold E. Graph drawing by force-directed placement. *Software: Practice and Experience*, 1991. 21, 1129–1164.
28. Guyon H., Falissard B., & Kop J.-L. Modeling psychological attributes in psychology—an epistemological discussion: Network analysis vs. latent variables. *Frontiers in Psychology*, 2017. 8, 798.
29. Holland P.W., & Rosenbaum P.R. Conditional association and unidimensionality in monotone latent variable models. *The Annals of Statistics*, 1986. 14, 1523–1543.
30. Koller D., & Friedman N. *Probabilistic graphical models: Principles and techniques*. Cambridge, MA: MIT Press. 2009.
31. Kruijff J., & Maris G. Three representations of the Ising model. *Scientific Reports*, 2016. 6, 34175.
32. Marsman M., Maris G., Bechger T., & Glas C. Bayesian inference for low-rank ISING networks. *Scientific reports*, 2015. 5(9050), 1–7.
33. Muthén B.O. Factor structure in groups selected on observed scores. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 1989. 42, 81–90.
34. Olsson U. Maximum likelihood estimation of the polychoric correlation coefficient. *Psychometrika*, 1979. 44, 443–460.
35. Open Science Collaboration. Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 2015. 349, aac4716 –aac4716.
36. Opsahl T., Agneessens F., & Skvoretz J. Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths. *Social Networks*, 2010. 32, 245–251.
37. Pan J., Ip E., & Dube L. An alternative to post-hoc model modification in confirmatory factor analysis: The Bayesian lasso. *Psychological Methods*, 2017. 22, 687–704.
38. Pearl J. *Causality: Models, reasoning, and inference*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2000.
39. Rhemtulla M., Fried E.I., Aggen S.H., Tuerlinckx F., Kendler K.S., & Borsboom D. Network analysis of substance abuse and dependence symptoms. *Drug and Alcohol Dependence*, 2016. 161, 230–237.
40. Rigdon E.E., & Ferguson C.E., Jr. The performance of the polychoric correlation coefficient and selected fitting functions in confirmatory factor analysis with ordinal data. *Journal of Marketing Research*, 1991. 28, 491–497.
41. Rosseel Y. *lavaan*: An R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software*, 2012. 48(2), 1–36.
42. Schmittmann V.D., Cramer A.O.J., Waldorp L.J., Epskamp S., Kievit R.A., & Borsboom D. Deconstructing the construct: A network perspective on psychological phenomena. *New Ideas in Psychology*, 2013. 31, 43–53.



43. van Bork R., Rhemtulla M., Waldorp L.J., Kruis J., Rezvanifar S. & Borsboom D. Latent Variable Models and Networks: Statistical Equivalence and Testability, *Multivariate Behavioral Research*, 2019. DOI: 10.1080/00273171.2019.1672515
44. van Borkulo C.D., Borsboom D., Epskamp S., Blanken T.F., Boschloo L., Schoevers R.A., & Waldorp L.J. A new method for constructing networks from binary data. *Scientific Reports*, 2014. 4(5918), 1–10.
45. van Borkulo C., Boschloo L., Kossakowski J., Tio P., Schoevers R., Borsboom D., & Waldorp L. Comparing network structures on three aspects: A permutation test. 2017. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29455.38569>
46. van Der Maas H.L., Dolan C.V., Grasman R.P., Wicherts J.M., Huizenga H.M., & Raijmakers M.E. A dynamical model of general intelligence: The positive manifold of intelligence by mutualism. *Psychological review*, 2006. 113, 842–861.

◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ **КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ** ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆

УДК 519.816

Разработка системы измерения интеллектуальной силы акторов

Потапова З.Е.*

Московский авиационный институт (НИУ МАИ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-1556>
e-mail: potapovaz@yandex.ru

Кисилевич И.К.**

Московский авиационный институт (НИУ МАИ),
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: ilya.kisilevich@gmail.com

В данной работе рассматривается проблема определения точной оценки возможности актора решить задачу определенной степени трудности. Оценка определяется в процессе решения локальных задач группой акторов, при этом задачи входят в круг компетенций данной группы. В общем случае акторы могут быть носителями как естественного, так и искусственного интеллекта. В процессе решения поставленной проблемы используется теорема Кондорсе, формула Раша, метод эволюционного согласования решений (МЭС).

Ключевые слова: актор, метод эволюционного согласования решений, вероятность правильного решения, трудность задания, подготовленность актора.

Благодарности. Авторы благодарят за помощь при постановке задачи и поисках способа её решения В.И.Протасова.

Для цитаты:

Потапова З.Е., Кисилевич И.К. Разработка системы измерения интеллектуальной силы акторов // Моделирование и анализ данных. 2021. Том 11. № 3. С. 57–73. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110304>

***Потапова Зинаида Евгеньевна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математической кибернетики, Московского авиационного института (НИУ МАИ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-1556>, e-mail: potapovaz@yandex.ru

****Кисилевич Илья Константинович**, бакалавр, выпускник кафедры математической кибернетики Института информационных технологий и прикладной математики Московского авиационного института, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: ilya.kisilevich@gmail.com



1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в промышленной и научной сферах всё чаще встречаются задачи повышенной трудности, с которыми не всегда может справиться один или несколько недостаточно подготовленных акторов. Такие задачи зачастую приводят к необходимости использования групповой работы, поддерживаемой системами коллективного интеллекта [1,2]. Современные методы построения систем коллективного принятия решений зачастую основываются на устаревающих методах и технологиях, известных ещё в докомпьютерную эру. Данные методы не учитывают специфику компьютерных сетей и новых подходов к управлению. При этом до сих пор стоит проблема достоверности результатов, полученных при использовании таких методов. В частности, до текущего момента не была представлена система измерения интеллектуальной силы акторов. Измерение интеллектуальной силы позволит найти подход для правильного распределения потока задач разной степени трудности в соответствии с возможностями акторов решить эти задачи [3]. В связи с этим возникает необходимость построения программной системы, которая бы вычисляла интеллектуальную силу актора и уровень трудности задания, с которым может справиться группа акторов с высокой вероятностью.

Основные определения и термины

В данной работе применяются следующие понятия и определения:

Актор (лат. *actor* – *деятель*) – индивид, общественная группа, институт или другой объект, осуществляющий конкретные действия в рамках своей роли. В процессе работы актор может либо генерировать решения, либо оценивать чужие решения. При этом акторы имеют определённый уровень подготовленности θ . Задания характеризуются трудностью β ;

Групповой актор – группа акторов, которая работает над проектом с заданной целью;

Слот – отдельная часть проекта, которая может иметь правильное или неправильное заполнение, либо остаться незаполненным;

Проект – продукт работы акторов, удовлетворяющий поставленной цели;

Метод эволюционного согласования (МЭС) – процедура заполнения слотов проекта групповым актором в соответствии с правилами взаимодействия, взятыми из генетических алгоритмов;

Задача – в данном контексте – вопрос из базы тестов с известными проверяющему ответами, но не известными актору.

Коллективный интеллект – способность группы акторов находить решения задач более эффективные, чем лучшее индивидуальное решение в этой группе. Эта способность зависит как от способностей отдельных акторов, входящих в группу, так и от правил или процедуры взаимодействия акторов в процессе работы над проектом;

Система коллективного интеллекта – совокупность инструментальных средств и процедур, позволяющих при соблюдении определенных условий организовать

коллективную работу акторов по заполнению слотов проекта правильными решениями.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработать алгоритм для измерения интеллектуальной силы актора. При этом акторы могут быть носителями как естественного, так и искусственного интеллекта. Для построения алгоритма использовать теорему Кондорсе [4], модель Георга Раша [4] и метод эволюционного согласования решений, базирующийся на генетических алгоритмах [3]. Провести анализ полученных результатов.

3. МЕТОД ЭВОЛЮЦИОННОГО СОГЛАСОВАНИЯ

Существенными особенностями метода эволюционного согласования решений, отличающего его от других, является использование концепции правил взаимодействия, взятых из генетических алгоритмов, между акторами, выступающими в двух ролях – генераторов частей решений и оценщиков чужих решений.

МЭС – способ организации коллективной работы акторов над проектом с заранее заданной целью по правилам, взятыми из генетических алгоритмов [3].

На рис. 1. показаны стадии заполнения слотов акторами.

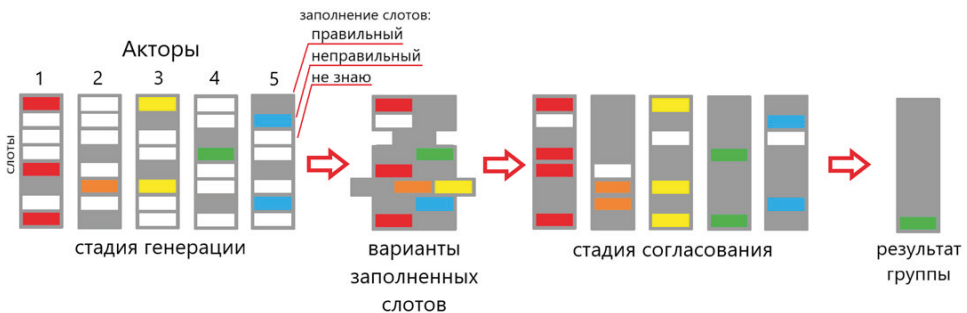


Рис. 1. Стадии заполнения слотов

Акторы на нулевой итерации заполняют слоты проекта в соответствии со своими знаниями. Цветные прямоугольники – неправильные ответы. На итерациях согласования каждый актор проверяет чужие варианты и выбирает из них правильные на его взгляд слоты, заполняя ими пустые ячейки своего варианта. Пустые слоты изображены белыми прямоугольниками, правильные ответы – серые.

Правила взаимодействия акторов, а также правила по организации работы акторов выглядят следующим образом:

- 1) Формулирование целей проекта;
- 2) Определение состава акторов и способов их взаимодействия;
- 3) Создание каркаса проекта – перечня слотов, подлежащих заполнению;



- 4) Нахождение первых вариантов решений, в том числе и неполных;
- 5) Обмен вариантами решений;
- 6) Проверка критериев окончания работы;
- 7) Составление новых решений из полученных (скрещивание);
- 8) Внесение изменений в новые решения (мутация);

Продолжение итерационного процесса обмена вариантами и скрещивания вариантов, пока не закончится время работы над проектом, или популяция решений не сойдётся к одинаковым ответам.

От числа итераций, количества акторов и их компетентности, как генераторов идей, так и оценщиков вариантов решений зависит результативность МЭС. Совокупным креативным потенциалом группы и выбранной схемой МЭС определяется качество созданного продукта.

МЭС может применяться в таких сферах, как: формирование разноязычных групп экспертов, дистанционная работа, компьютерная лингвистика, формирование команд в процессе совместной деятельности, составление планов развития организаций и отраслей, составление экспертных заключений, самоуправляемый краудсорсинг, автоматический переводчик, составление фоторобота, образование, составление технического задания и др.

4. ТЕОРЕМА КОНДОРСЕ

Вероятность правильного решения задачи с использованием МЭС на стадии генерации решений группой акторов можно определить с использованием математической модели, связанной с теоремой Кондорсе о жюри присяжных, опубликованной в 1785 г [4]. Наиболее популярная формулировка этой теоремы выглядит следующим образом:

Пусть одно из двух решений, предлагаемых группой присяжных- правильное, и присяжный в среднем чаще голосует за правильное решение. Утверждается, что вероятность вынесения правильного решения большинством голосов растёт с ростом числа присяжных и стремится к единице.

Далее для наглядности приведём рис. 2., на котором отображена зависимость вероятности Q_R правильного решения группы из M акторов от их числа и вероятности G_R правильного решения одного актора.

Из рассмотрения этого рисунка видно, что группа из 5001 акторов с $G_R=0.505$ достигает вероятности правильного решения $Q_R=0.8$, иными словами, мы наблюдаем эффект «усиления интеллекта» в группе. При $G_R > 0.5$ мы наблюдаем эффект Кондорсе – стремление Q_R к единице при увеличении числа акторов. Для $G_R < 0.5$ мы наблюдаем обратный эффект – уменьшение Q_R . Вероятность Q_R правильного решения группой, состоящей из M акторов, в зависимости от их числа и величин вероятности определения правильного решения G_i у каждого актора, рассчитанную из теории, можно представить следующим образом:

$$Q_R = \left(1 + \sum_{j=2}^H \sum_{l_{j-1} > l_{j-2} > \dots > l_1} \prod_{n=1}^{j-1} \frac{1-G_{l_n}}{G_{l_n}}\right) \prod_{i=1}^M G_i \quad (1)$$



где $H = \frac{M+1}{2}$, все $l_n = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, H - 1$.

При четном M в случае равенства числа правильных и неправильных решений теория рекомендует решение выбирать случайно, но, чтобы избежать этого, лучше заранее выбрать M нечетным числом.

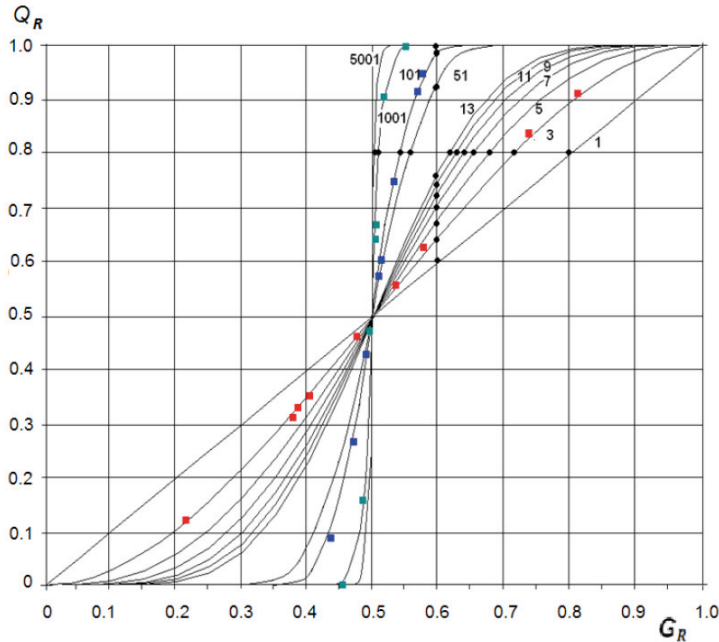


Рис. 2. Зависимости величин в теореме Кондорсе

При $G_1 = G_2 = \dots = G_M = G_R$ после преобразований и сверток коэффициентов получаем выражение:

$$Q_R = \sum_{i=0}^{\frac{M-1}{2}} C_M^i G_R^{M-i} (1 - G_R)^i \quad (2)$$

5. МОДЕЛЬ РАША

Связь между уровнем трудности тестовых вопросов и степенью подготовленности акторов при определении вероятности правильного ответа была установлена Георгом Рашем в наиболее общей теории конструирования тестов, опирающейся на теорию измерений – Item Response Theory (IRT) [5]. В основе этой теории лежит модель Георга Раша, параметрами которой являются величины: трудность β и подготовленность θ . В модели Раша вероятность правильного ответа i -го испытуемого на j -е тестовое задание определяется разностью параметров $\theta_i - \beta_j$. Георг Раш сделал предположение, что данная математическая модель устанавливает связь между значениями параметров θ_i и β_j и эмпирическими результатами тестирования, при этом



подготовленность i -го испытуемого θ_i и трудность j -го задания β_j измеряются в одних и тех же латентных единицах – логитах. Теоретические значения этих величин могут изменяться от минус бесконечности до плюс бесконечности.

Согласно этой модели, вероятность G_R правильного заполнения слота трудности β и подготовленности актора θ_G выражается так:

$$G_R = \frac{1}{1 + e^{\beta - \theta_G}} \quad (3)$$

Далее для наглядности приводится рис. 3., который демонстрирует зависимость вероятности правильного ответа G_R от трудности задания β при различных значениях подготовленности актора θ_G в процессе генерации решения.

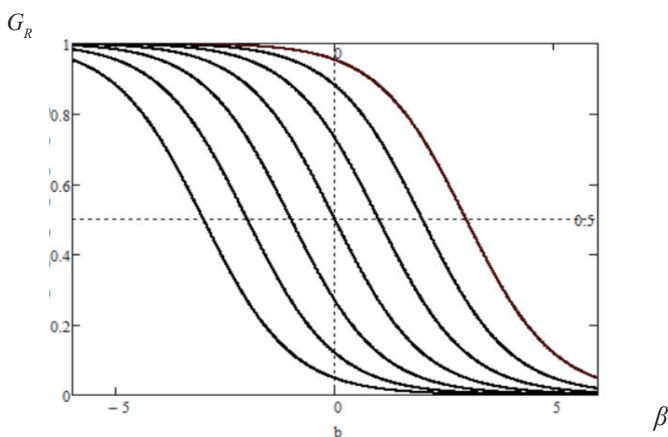


Рис. 3. Зависимости величин в формуле Раша

6. ЦЕННОСТЬ ЗАДАЧ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЛОЖНОСТИ

Применяя модели Раша и МЭС, можно принципиально решить проблему квалиметрии вклада акторов в коллективный проект. Из описания МЭС видно, что креативные способности акторов, которые они используют при коллективной работе над проектом, состоящим из слотов аналогичных по сложности, можно свести к четырем основным параметрам:

G_R – вероятность правильного заполнения слота актором на этапе генерации идей;

G_N – вероятность ошибочного заполнения слота актором на этапе генерации идей;

E_R – вероятность правильной экспертизы на этапе согласования решений;

E_N – вероятность ошибочной экспертизы на этапе согласования решений;

С данными параметрами актора связаны четыре вспомогательных параметра, используемых в дальнейшем:

$G_S = G_R + G_N$ – вероятность заполнения слота на стадии генерации;

$G_V = 1 - G_S$ – вероятность ответа «не знаю» на стадии генерации;



$E_S = E_R + E_N$ – вероятность того, что слот будет заполнен при оценивании;

$E_V = 1 - E_S$ – вероятность того, что слот не будет заполнен при оценивании.

Степень подготовленности актора θ определяется на тестах с открытыми вопросами.

Очевидно, что при ответе на простые вопросы, в тех случаях, когда подготовленность актора θ_G в несколько раз превышает трудность задачи β , вероятность неправильного ответа стремится к нулю. В случае решения сложных задач, когда подготовленность актора θ_G намного меньше трудности задания β , вероятность неправильного ответа в двоичной логике, когда актер дает только два взаимоисключающих ответа, существенно возрастает. Однако, в троичной логике вероятность неправильного ответа также должна близиться к нулю, так как актер будет давать ответ «не знаю» с вероятностью, близкой к единице.

Аналогичные рассуждения можно провести для случая определения вероятности правильной и неправильной экспертизы.

$$E_R = \frac{1}{1 + e^{\beta - \theta_E}} \quad (4)$$

где θ_E – подготовленность актора к экспертизе уже имеющихся решений. Из анализа имеющихся выражений и использования компьютерного моделирования вероятности правильного ответа, полученного группой акторов в зависимости от трудности задачи и их подготовленности, можно построить методику квалитметрического обеспечения системы, определяющую относительную стоимость выполнения задач и справедливую систему оплаты труда специалистов, решающих интеллектуальные задачи в составе группы или индивидуально [6, 7, 8].

Утверждения о величине интеллектуальной сложности задачи и интеллектуальной силе актора

Для нахождения интеллектуальной сложности задачи $S(\beta)$ и интеллектуальной силы актора $Z(\theta)$ применим принцип равной оплаты равного труда. Принцип заключается в следующем. Допустим, у нас есть две группы M_1 и M_2 акторов с подготовленностью θ_1 и θ_2 , правильно решающие задачу трудности β , с заданной вероятностью Q . Этой задаче соответствуют затраты труда S , соответствующие ее интеллектуальной сложности, и определена цена задачи. Тогда интеллектуальная сила актора из первой группы, соответствующая затратам труда актора, будет определяться отношением $Z_1 = \frac{S}{M_1}$, а интеллектуальная сила актора из второй группы, соответствующая затратам его труда, будет определяться отношением $Z_2 = \frac{S}{M_2}$.

Утверждение 1. *Интеллектуальная сложность задачи трудности β , решаемая с заданной вероятностью Q , равна*

$$S(\beta) = \frac{\ln \frac{1}{1-Q}}{\ln 2} C^\beta = M_0 C^\beta \quad (5)$$

Утверждение 2. *Интеллектуальная сила актора с подготовленностью θ равна*

$$Z(\theta) = C^\theta \quad (6)$$



где $C = e^{\frac{1}{2 \ln 2}} = 2.05720346 \dots$

Рассмотрим алгоритм метода золотого сечения, применённый в процессе решения поставленной задачи.

7. АЛГОРИТМ МЕТОДА ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ

Рассматривается следующая модель. Пусть существует M акторов, отвечающих на N тестовых вопросов. У акторов изначально известно значение подготовленности θ и вероятность $Q_R(\beta)$ – зависимость правильного ответа группы акторов от трудности задачи. Нужно подобрать такую трудность β , чтобы $Q_R \geq 0.999$.

Для решения этой задачи был выбран метод золотого сечения. Алгоритм выглядит следующим образом:

Задаются границы для поиска трудности β (± 1.5 логит):

$$a = \theta - 1.5, \quad b = \theta + 1.5$$

1. Согласно методу золотого сечения высчитываются две внутренние точки:

$$c = a + (1.5 + \sqrt{1.25}) * (b - a),$$

$$d = b - (1.5 - \sqrt{1.25}) * (b - a) \quad (7)$$

Вычисляются значения правильного ответа группы акторов в этих точках $Q_R(c)$ и $Q_R(d)$:

Вероятность правильного решения Q_R группы акторов находится при помощи метода эволюционного согласования

Сравниваются полученные $Q_R(c)$ и $Q_R(d)$:

Если $Q_R(d) \leq Q_R(c)$, то a меняется на d , иначе – b на c

Если $Q_R \notin (0.999; 0.9999)$ то идет возврат к п.2, иначе переходим к п.6

При $Q_R \geq 0.999$ и $Q_R < 0.9999$ вычисляется β .

Далее для наглядности приводится графическое изображение этого алгоритма. На рис. 4. показан график зависимости $Q_R(\beta)$ и движение границ поиска β согласно методу золотого сечения.

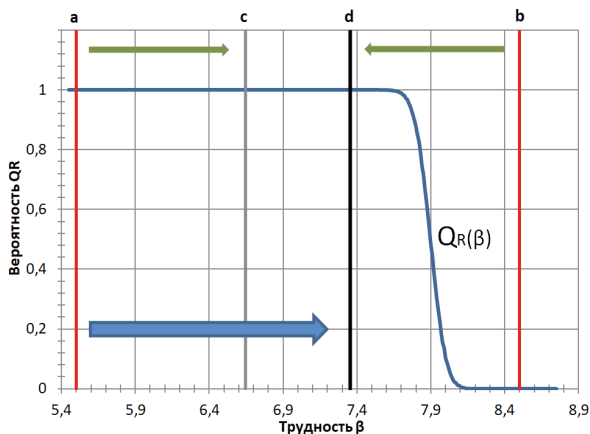


Рис. 4. Метод золотого сечения



8. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ

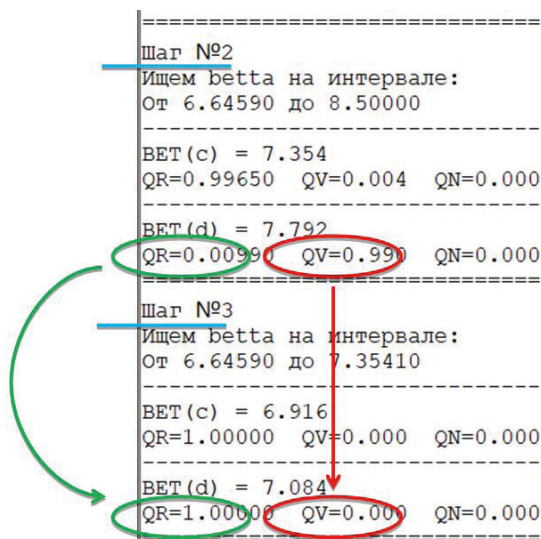
Компьютерная модель для данной задачи была реализована с помощью языка программирования PascalABC.NET.

Разработанная модель представляет собой некоторую базу, в которую вносятся результаты решений и экспертных оценок виртуальных акторов. Эти результаты могут изменяться в зависимости от количества акторов, а также от их уровня подготовленности. На основании этих результатов вычисляется вероятность правильного решения поставленной задачи для M акторов. Количество акторов M пользователь задаёт сам. Задача, которую решают акторы, состоит из 100 вопросов, на каждый из которых можно выбрать ответ или ответить «не знаю». В разработанной программе можно использовать реальные значения θ акторов, вычисляемые из тестов, а можно использовать величины, сгенерированные случайным образом на основании введённой подготовленности. Генерация сделана таким образом, чтобы сохранялась логика: подготовленность актора к заполнению слотов θ_{GS} (правильный или неправильный ответ) должна быть строго больше уровня подготовленности θ_{GR} к генерации решений, так же, как и подготовленность актора к экспертизе θ_{ES} (правильной или не правильной) должна быть больше подготовленности к правильной экспертизе θ_{ER} . Далее приведен фрагмент кода (рис. 5.), на котором видна генерация θ :

```
8   koef:=0.1;  
9   writeln('Введите количество акторов M: ');  
10  readln(M);  
11  writeln('Введите TGR: ');  
12  readln(TGR);  
13  g1:=koef*random;  
14  TGS:=TGR+g1+M/50;  
15  g2:=koef*random;  
16  TER:=TGS+g2+M/50;  
17  g3:=koef*random;  
18  TES:=TER+g3+M/16;
```

Рис. 5. Генерация θ

В программе реализован метод золотого сечения, адаптированный под текущую задачу следующим образом: вместо экстремума ищется значение переменной β , которое должно удовлетворять заданным параметрам, а вместо целевой функции используется итерационный цикл, моделирующий стадии генерации и согласования решений в методе эволюционного согласования. В процессе работы программы можно наблюдать как в зависимости от текущего уровня трудности задачи меняются вероятность правильного решения задачи группой акторов Q_R и вероятность ответа «не знаю» Q_V (рис. 6.).

Рис. 6. Изменение Q_R и Q_V

Рассмотрим примеры.

Пример 1.

Пусть мы не обладаем данными об уровне подготовленности конкретных акторов. Тогда воспользуемся значениями, которые генерирует программа.

На рис. 7. показаны данные, которые генерирует программа.

```
Окно вывода
Введите количество акторов M:
11
Желаете сгенерировать значения для подготовленн:
1-да, 0-нет
1
Введите TGR:
6.21
Начальные данные:
TGR=6.210  TGS=6.486
TER=6.724  TES=7.429
=====
```

Рис. 7. Пример генерации значений для θ_{GS} , θ_{ER} и θ_{ES}

Далее, когда все необходимые данные заданы, начинается работа процесса, отвечающего за исполнение метода золотого сечения.

Для поиска трудности β задаётся интервал (± 1.5 логит). Так как было задано $\theta_{GR} = 6.21$, то берутся границы, равные 4.71 и 7.71 согласно алгоритму. Ориентируясь на формулы 1.9, получаем новые границы, равные 5.856 и 6.564 и следующим шагом вычисляются и сравниваются значения Q_R , для текущих границ.

На рис. 8. показан 1 шаг работы программы для поиска β .



```
=====
Шаг №1
Ищем beta на интервале:
От 4.71000 до 7.71000
-----
ВЕТ (с) = 5.856
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
ВЕТ (d) = 6.564
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
=====
```

Рис. 8. Начало поиска β

Далее продолжается движение границ в направлении искомой трудности задачи β . На рис. 9. можно увидеть, что при достаточно высоких значениях β вероятность правильного решения группой акторов Q_R падает до 0.

```
=====
Шаг №2
Ищем beta на интервале:
От 5.85590 до 7.71000
-----
ВЕТ (с) = 6.564
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
ВЕТ (d) = 7.002
QR=0.14940 QV=0.851 QN=0.000
=====
Шаг №3
Ищем beta на интервале:
От 6.56410 до 7.71000
-----
ВЕТ (с) = 7.002
QR=0.14880 QV=0.851 QN=0.000
-----
ВЕТ (d) = 7.272
QR=0.00000 QV=1.000 QN=0.000
=====
```

Рис. 9. Процесс поиска β , шаги 2 и 3

Полученные нулевые значения промежуточные и означают, что с текущим уровнем сложности заданий эти акторы не справятся, поэтому программа продолжает искать максимально высокий уровень трудности β , с которым акторы точно справятся.

Далее, на 5 шаге программа находит искомое значение трудности β , при котором достигается заданная вероятность $Q_R \geq 0.999$ (рис. 10.).



```

=====
Шаг №4
Ищем beta на интервале:
От 6.56410 до 7.00180
-----
BET (c) = 6.731
QR=0.99510 QV=0.005 QN=0.000
-----
BET (d) = 6.835
QR=0.89070 QV=0.109 QN=0.000
=====
Шаг №5
Ищем beta на интервале:
От 6.56410 до 6.73129
-----
BET (c) = 6.628
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET (d) = 6.667
QR=0.99960 QV=0.000 QN=0.000
=====

```

Рис. 10. Значение β найдено, шаги 4 и 5

Далее по формулам Раша вычисляются значения вероятностей G_R, G_V, G_N, E_V, E_N для полученного β (рис. 11.).

```

=====
Полученные вероятности:
GR=0.388 GV=0.545 GN=0.067
EV=0.545 EN=0.067
=====

```

Рис. 11. Значение вероятностей G_R, G_V, G_N, E_V, E_N .

В результате выписывается ответ (рис. 12.), который содержит найденное β и интеллектуальную силу Z , вычисленную по формуле (6).

```

=====
-----ОТВЕТ-----
BET = 6.66743 (ЛОГИТ)
Z = 122.67423 (ИНТ)
=====

```

Рис. 12. Интеллектуальная сила 11 акторов с подготовленностью $\theta_{GR} = 6.21$

Пример 2

Второй пример будет демонстрировать работу программы для введенных вручную значений θ .

На рис. 13. приведена работа программы для введенных вручную $\theta_{GS}, \theta_{GR}, \theta_{ES}, \theta_{ER}$



```
Осно вывода
Введите количество акторов M:
9
Желаете сгенерировать значения для подготовленности?
1-да, 0-нет
0
Введите TGR:
6.24
Введите TGS:
6.523
Введите TER:
6.855
Введите TES:
7.664
=====
Шаг №1
Ищем beta на интервале:
От 4.74000 до 7.74000
-----
BET(c) = 5.886
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET(d) = 6.594
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
=====
Шаг №2
Ищем beta на интервале:
От 5.88590 до 7.74000
-----
BET(c) = 6.594
QR=1.00000 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET(d) = 7.032
QR=0.19300 QV=0.807 QN=0.000
=====
Шаг №3
Ищем beta на интервале:
От 6.59410 до 7.74000
-----
BET(c) = 7.032
QR=0.19410 QV=0.806 QN=0.000
-----
BET(d) = 7.302
QR=0.00000 QV=1.000 QN=0.000
=====
Шаг №4
Ищем beta на интервале:
От 6.59410 до 7.03180
-----
BET(c) = 6.761
QR=0.99210 QV=0.008 QN=0.000
-----
BET(d) = 6.865
QR=0.88140 QV=0.119 QN=0.000
=====
Шаг №5
Ищем beta на интервале:
От 6.59410 до 6.76129
-----
BET(c) = 6.658
QR=0.99980 QV=0.000 QN=0.000
-----
BET(d) = 6.697
QR=0.99960 QV=0.000 QN=0.000
=====
Полученные вероятности:
GR=0.388 GV=0.543 GN=0.069
EV=0.543 EN=0.069
=====
-OVBET-
BET = 6.69743 (логит)
Z = 125.35788 (инт)
=====
```

Рис. 13.
Интеллектуальная сила девяти акторов с подготовленностью $\theta_{GR} = 6.24$



В данном случае получилось, что сразу две границы удовлетворяют условию для Q_R . Но в коде такой результат предусмотрен и в ответ будет заноситься большее значение из двух полученных β .

Анализ результатов

По полученным из этой программы данным можно построить различные графики.

Было проведено несколько итераций работы программы с постоянными значениями количества акторов и подготовленностями θ_{GS} , θ_{ES} , θ_{ER} . Изменению подвергалось только значение θ_{GR} . На рис. 14. видно, что при увеличении значения θ_{GR} стремительно возрастает уровень интеллектуальной силы.



Рис.14. Зависимость подготовленности акторов от интеллектуальной силы

Преимущества коллективного интеллекта можно увидеть на рис. 15. Для определения Q_R и построения графика выполнено несколько прогонов программы при постоянном $\beta = 6,667$ и различных значениях

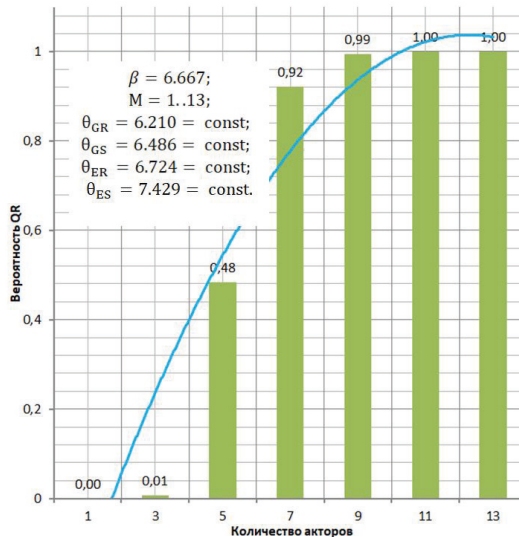


Рис. 15. Зависимость вероятности правильного решения Q_R от количества акторов



Не трудно увидеть, что чем больше акторов в группе и чем выше их подготовленность, тем труднее задачи они способны решать.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря изучению систем коллективного интеллекта становится возможным активное развитие коллективной работы. Внедрение результатов проделанной работы, основанной на теоретической платформе основ систем коллективного интеллекта, позволит в значительной степени упростить процесс сопоставления различных задач с группой, направленной на решение данных заданий, а также уменьшить затрачиваемые ресурсы, направленные на их исполнение.

В результате проделанной работы разработаны алгоритмы и составлена программа вычисления трудности β при $Q_R \geq 0,999$;
вычисления вероятности правильного решения группой акторов при заданном β ;
вычисления интеллектуальной силы актора $Z(\theta)$.

При этом акторами могут быть носители как естественного, так и искусственного интеллекта. Можно сделать вывод, что использование МЭС, модели Раша и теоремы Кондорсе позволяет решить проблему квалиметрии в тестировании и решении интеллектуальных задач. Становится возможным измерение интеллектуальной силы специалистов и трудности задачи.

Литература

1. *Malone, T.W.* Harnessing Crowds: Mapping the Genome of Collective Intelligence [Electronic resource] / T.W. Malone, R. Laubacher, R. Dellarocas, N. Chrysanthos // – MIT Sloan Research, 2009, Paper No. 4732–09. DOI:10.2139/ssrn.1381502
2. *Венда, В.Ф.* Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика [Текст] / В.Ф. Венда // – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
3. *Протасов В.И.* Как определить меру трудности заданий и уровень подготовленности экспертов при использовании метода эволюционного согласования решений. Образовательные технологии (г. Москва). 2016, № 1, с. 80–93. eLIBRARY ID: 26463072
4. Condorcet, marquis Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat. Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix [Text] / Marie-Jean-Antoine-Nicolas Condorcet // –Paris: Imprimerie Royale, 1785.
5. *Rasch, G.* Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests [Text] / G. Rasch // – Chicago: University of Chicago Press, 1981. –199 p. DOI:10.2307/2287805
6. *Потапова З.Е., Протасов В.И.* Метрология систем эволюционного согласования решений и нормирование интеллектуального труда. Современные информационные технологии и ИТ-образование. – М. 2019. С.1058–1069 DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.1047–1055
7. *Шарнин М.М., Протасов В.И., Потапова З.Е., Мельников Е.И., Морочо Минчало.* Теорема Кондорсе и теорема об экспертах. Труды III Международной конференции «Физико-техническая информатика СРТ2015». Протвино, 16–20 июня 2015 г. – Изд. ИФТИ, 2016, с. 277–279. eLIBRARY ID: 26129453
8. *В.И.Протасов, З.Е. Потапова, О.К. Осипчук.* Сертификация экспертов и определение относительной цены задачи в зависимости от ее сложности. Труды XX Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть 2. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2015, с.164–176. eLIBRARY ID: 24206486



Development of a System for Measuring the Intellectual Power of Actors

Zinaida E. Potapova *

Institute of Information Technology and Applied Mathematics

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-1556>

e-mail: potapovaz@yandex.ru

Ilya K. Kisilevich **

Institute of Information Technology and Applied Mathematics

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

e-mail: ilya.kisilevich@gmail.com

The problem of determining an accurate assessment of the actor's ability to solve a problem of a certain degree of difficulty is considered in this work. The assessment is determined by a group of actors in the process of solving local problems, while the tasks are included in the competence of this group. Actors can be carriers of both natural and artificial intelligence. Condorcet Jury Theorem, Georg Rasch Model, method of the evolutionary decision reconciliation (EDR) are used in the process of solving the problem posed.

Related Experiences Assessment Scale is given. The measure of academic success is better predicted not by those experiences that are manifested during study activities, but those that arise along on the way to university. There is a slight effect of the influence of time on the measure of effort.

Keywords: actor, method of the evolutionary decision reconciliation, the probability of a correct decision, the difficulty of the task, the preparedness of the actor.

Acknowledgments. The authors are grateful to V.I. Protasov for his help in setting the problem and finding a way to solve it.

For citation:

Potapova Z.E., Kisilevich I.K. Development of a System for Measuring the Intellectual Power of Actors. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2021. Vol. 11, no. 3, pp. 57–73. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110304> (In Russ., abstr. in Engl.).

***Zinaida E. Potapova**, PhD (Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor, Chair of Mathematics and Cybernetics, Institute of Information Technology and Applied Mathematics, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-1556>, e-mail: potapovaz@yandex.ru

****Ilya K. Kisilevich**, bachelor, graduate of the Department of Mathematics and Cybernetics, Institute of Information Technology and Applied Mathematics, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia, e-mail: ilya.kisilevich@gmail.com



References

1. T.W. Malone, R. Laubacher, R. Dellarocas, N. Chrysanthos. Harnessing Crowds: Mapping the Genome of Collective Intelligence [Electronic resource] // –MIT Sloan Research, 2009, Paper No. 4732–09. DOI:10.2139/ssrn.1381502
2. Venda, V.F. Sistemy gibridnogo intellekta: Evolyutsiya, psikhologiya, informatika [Tekst] / V.F. Venda // – M.: Mashinostroyeniye, 1990. – 448 s. (In Russ.).
3. V.I. Protasov. Kak opredelit' meru trudnosti zadaniy i uroven' podgotovlennosti ekspertov pri ispol'zovanii metoda evolyutsionnogo soglasovaniya resheniy. *Obrazovatel'nyye tekhnologii (g. Moskva)*. 2016, № 1, s. 80–93. (In Russ.).
4. Condorcet, marquis Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat. Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix [Text] // –Paris: Imprimerie Royale, 1785.
5. Rasch, G. Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests [Text] / G. Rasch // – Chicago: University of Chicago Press, 1981. –199 p. DOI:10.2307/2287805
6. Potapova Z.E., Protasov V.I. Metrologiya sistem evolyutsionnogo soglasovaniya resheniy i normirovaniye intellektual'nogo truda. *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovaniye*. – ММ. 2019. s.1058–1069 (In Russ.). DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.1047–1055
7. Sharnin M.M., Protasov V.I., Potapova Z.E., Mel'nikov E.I., Morocho Minchalo. Teorema Kondorse i teorema ob ekspertakh. *Trudy III Mezhdunarodnoy konferentsii "Fiziko-tekhnicheskaya informatika CPT2015"*. Protvino, 16–20 iyunya 2015 g. – Izd. IFTI, 2016, s. 277–279. (In Russ.). eLIBRARY ID: 26129453
8. V.I. Protasov, Z.E. Potapova, O.K. Osipchuk. Sertifikatsiya ekspertov i opredeleniye otnositel'noy tseny zadachi v zavisimosti ot yeye slozhnosti. *Trudy KHKH Baykal'skoy Vserossiyskoy konferentsii «Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii»*. Chast' 2. – Irkutsk: ISEM SO RAN. 2015, s.164-176 (In Russ.). eLIBRARY ID: 24206486

◇◇МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ◇◇

УДК 004.946

Разработка математической модели отслеживания движения человеческой конечности в трехмерном пространстве с помощью МЭМС-датчиков

*Левонич Н.И.**

Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8580-0490>
e-mail: levonikitech@yandex.ru

В данной статье рассматривается разработка математической модели для устройства, способного отслеживать движения человеческой конечности, на базе показаний микроэлектромеханических датчиков. Для разработки и выбора наиболее подходящей модели, были проведены эксперименты на базе общедоступных компонентов. Полученный результат имеет практическое значение, так как может быть применен для создания устройства.

Ключевые слова: системы управления, виртуальная реальность, микроэлектромеханические датчики, фильтр Калмана, микроконтроллеры, MEMS.

Для цитаты:

Левонич Н.И. Разработка математической модели отслеживания движения человеческой конечности в трехмерном пространстве с помощью МЭМС-датчиков // Моделирование и анализ данных. 2021. Том 11. № 3. С. 74–82. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110305>

**Левонич Никита Ильич*, студент, Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8580-0490>, e-mail: levonikitech@yandex.ru



1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно развиваются технологии виртуальной и дополненной реальности. В связи с этим встает задача разработки устройств, которые смогут захватывать движения человека и превращать их в движение виртуальных объектов. Захват движений человека может производиться разными средствами, такими как камеры, в том числе TOF-камерами, механическими датчиками (тензорезисторами) и микроэлектромеханическими системами (акселерометрами, гироскопами и магнитометрами). В данной статье будет рассмотрена возможность построения системы, которая с помощью датчиков пространственного положения (акселерометров, гироскопов и магнитометров) [4] будет отслеживать движение руки человека.

2. АНАЛИЗ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

В качестве базового устройства для построения прототипа системы, позволяющей отслеживать положение руки, был выбран микроконтроллер Arduino [2]. Данный выбор был обусловлен его открытостью, доступностью и обилием документации.

На сегодняшний день на рынке существует множество модулей для Arduino, содержащих те или иные микроэлектромеханические датчики, однако только три модуля содержат акселерометр, гироскоп и магнитометр в сборе. В рамках нашего исследования мы ограничимся только ими. В таблице 1 приведено их сравнительное описание.

Из описания модулей следует, что модули TDK MPU9250 и STMicroelectronics LSM9DS3 обладают примерно одинаковыми характеристиками, а Bosch BNO080 выгодно отличается от них наличием встроенного вычислительного ядра. Наличие вычислительного ядра, вместе с вшитыми производителем алгоритмами обработки, позволяет существенно сократить количество вычислений на базовом устройстве.

Для всех вышеперечисленных датчиков имеются специальные библиотеки на языке C++, которые позволяют считывать показания в память микроконтроллера.

3. ПЕРВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Целью первого исследовательского эксперимента, с помощью микроэлектромеханических датчиков, стало отслеживание перемещения человеческой конечности с применением метода двойного интегрирования линейных ускорений для нахождения изменения положения объекта. На первом этапе исследования проводилась попытка получения перемещений тела с помощью одного датчика. Это было сделано путем двойного численного интегрирования.

Для реализации этого этапа использовалось следующее материальное обеспечение: микроконтроллер Arduino Leonardo, датчик TDK MPU6050/TDK MPU9250, тканевая перчатка, позволяющая закрепить сборку из микроконтроллера и датчика на кисти руки. Для микроконтроллера на языке C++ была написана программа, реализующая математическую модель двойного интегрирования.



Таблица 1

Сравнение характеристик MEMS модулей для Arduino

Характеристика	TDK MPU9250	STMicroelectronics LSM9DS3	Bosch BNO080
Точность гироскопа	$\pm \frac{125^\circ}{16384c}$ $\pm \frac{125^\circ}{8192c}$ $\pm \frac{4096c}{125^\circ}$ $\pm \frac{2048c}{125^\circ}$	$\pm \frac{125^\circ}{16384c}$ $\pm \frac{125^\circ}{8192c}$ $\pm \frac{4096c}{125^\circ}$ $\pm \frac{2048c}{125^\circ}$	$\pm \frac{3.1^\circ}{c}$ (композиционная точность)
Точность акселерометра	$\pm \frac{1}{16384} g^1$ $\pm \frac{1}{8192} g$ $\pm \frac{1}{4096} g$ $\pm \frac{1}{2048} g$	$\pm \frac{1}{16384} g$ $\pm \frac{1}{8192} g$ $\pm \frac{1}{4096} g$ $\pm \frac{1}{2048} g$	$\pm \frac{3}{1960} g$ (композиционная точность)
Точность магнитометра	0.6мкТ	0.1мкТ 0.2мкТ 0.4мкТ 0.8мкТ	1.4мкТ
Встроенное ядро вычислений	Отсутствует	Отсутствует	Cortex M0
Интерфейсы	I2C, SPI	I2C, SPI	I2C, SPI, UART

В результате данного эксперимента было установлено, что модельная позиция перемещаемого объекта, по мере продолжения исследования, становится все дальше от реального положения объекта в пространстве. При этом анализ логов показывает, что в процессе эксперимента перемещение объекта за единицу времени продолжает расти несмотря на то, что по истечении некоторого времени объект останавливается.

Полученный результат свидетельствует о накоплении ошибки двойного интегрирования. Это усугубляется отсутствием фильтрации помех во входных данных перед их интегрированием.

С целью решения возникшей проблемы был использован фильтр Калмана. Однако в процессе эксперимента подтвердились проведенные ранее другими специалистами многочисленные исследования, свидетельствующие о том, что даже с помощью фильтра Калмана добиться приемлемой точности, для решения, поставленной задачи невозможно.

4. ВТОРОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Перед началом второго эксперимента была сформулирована гипотеза:

Возможно создать технологию, которая на базе нескольких микроэлектромеханических датчиков, поможет создать систему, с помощью которой можно будет разработать модель движения конечности в реальном времени.

Данная система будет использовать несколько зависимых систем сферических координат, в каждой из которых будет зафиксировано радиальное расстояние.

С целью проверки данной гипотезы был проведен эксперимент. В качестве материальной базы эксперимента были выбраны микроконтроллер Arduino Nano и микроэлектромеханический датчик Bosh BNO080. Была собрана установка, имитирующая упрощенную конечность человека на гидравлических приводах (рисунок 1).

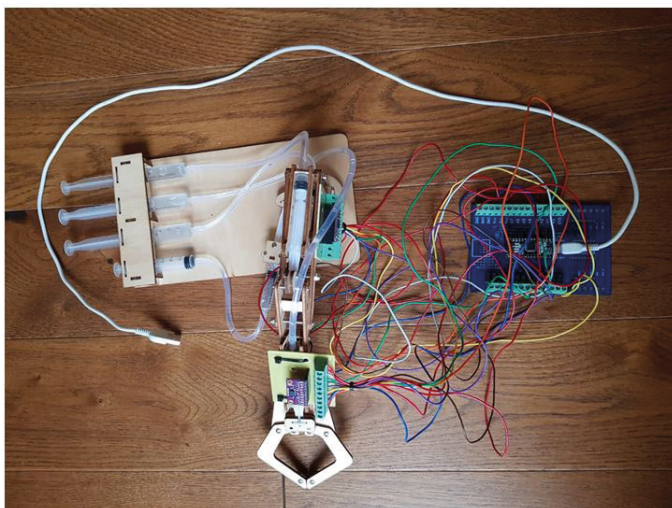


Рис. 1. Установка имитирующая конечность человека

В качестве библиотеки для связи микроконтроллера с датчиком была использована библиотека от компании SparkFun Electronics, которая распространяется под открытой лицензией MIT [3]. Данная библиотека позволяет получить отфильтрованную по Маджвику ориентацию микро электромеханического датчика, а также вычислить соответствующие углы Эйлера. Библиотека позволяет подключиться к датчику по интерфейсам SPI или I2C.

В рамках эксперимента использовался протокол SPI, как наиболее скоростной и позволяющий подключить несколько датчиков.

На два колена установки при помощи стягивающих хомутов закреплены платы, которые содержат датчики Bosch BNO080. Датчики с помощью четырех проводов, образующих шину SPI, подключаются к микроконтроллеру Arduino, как показано на рисунке 2. Все провода шины, кроме провода ChipSelect, являются общими для обоих датчиков.

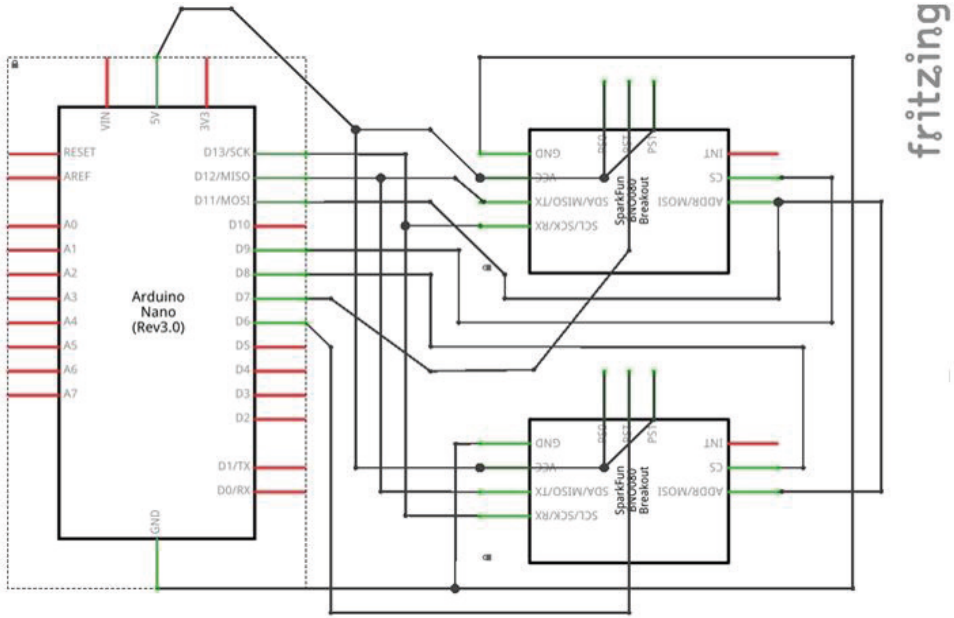


Рис. 2. Схема подключения датчиков

Для тестовой установки была написана программа, которая считывает данные о текущей ориентации датчика (Rotation Vector [1]). При инициализации контроллера датчиком отправляется команда начать передавать данные с интервалом в 50 миллисекунд (листинг 1). При поступлении данных от датчиков, библиотека вычисляет радианную меру углов Эйлера на базе кватернионов ориентации (листинг 2).

```
void setup() {
  imus[0].enableRotationVector(50); // Send data update every 50ms
  imus[1].enableRotationVector(50); // Send data update every 50ms
}
```

Листинг 1. Инициализация датчиков

После получения углов в процессе выполнения программы имеется три четырехбайтовых числа с плавающей точкой стандарта IEEE754, в которых содержатся углы. Они разбиваются на байты и отправляются на компьютер по последовательному интерфейсу в составе пакета (формула 1).

```
angles[0].roll = imus[0].getRoll();
angles[0].pitch = imus[0].getPitch();
angles[0].yaw = imus[0].getYaw();
```

Листинг 2. Получение углов

Время	Крен 1	Тангаж 1	Рыскание 1	Крен 2	Тангаж 2	Рыскание 2
(Int32_MSB)	(Float32_LSB)	(Float32_LSB)	(Float32_LSB)	(Float32_LSB)	(Float32_LSB)	(Float32_LSB)
BC00010203	04050607	08090A0B	0C0D0E0F	10111213	14151617	18191A1B DE (1)

Данные, получаемые в процессе эксперимента, средствами Python скрипта, использующего библиотеку PySerial, записывались в файл в бинарном виде.

Полученный файл разбирается с помощью алгоритма, реализованного при помощи Pandas в системе Jupyter Notebook, на выходе алгоритма таблица в формате CSV [6]. Полученный временной ряд был визуализирован в виде динамического графика. Каждый кадр динамического графика представляет собой шесть систем координат (по системе для каждого измеренного угла), в которых для каждого угла строится двумерный радиус-вектор, соединяющий начало координат и точку $(\cos \alpha, \sin \alpha)$. Кадр этого динамического графика изображен на рисунке 3.

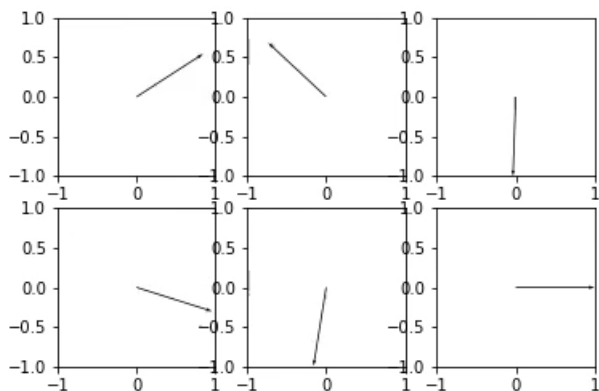


Рис. 3. Визуализация полученных данных

Анализ динамического графика выявил отсутствие непрерывности в изменении положения датчика. На рисунке 4 изображен трехмерный график, показывающий зависимость синуса и косинуса угла от времени.

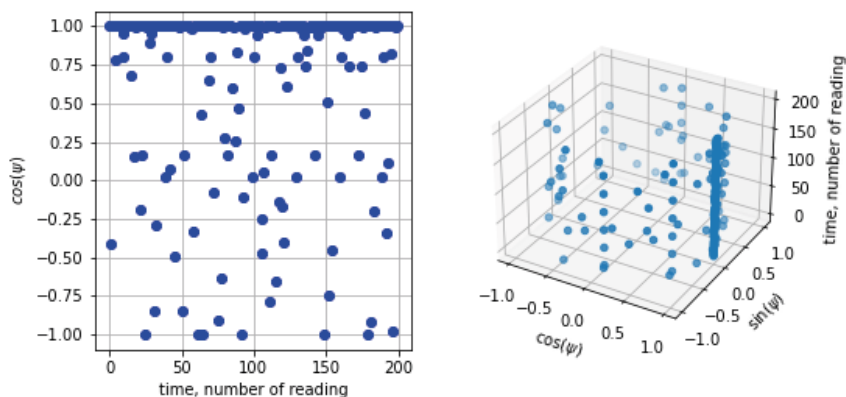


Рис. 4. Зависимость тригонометрических функций угла от времени во втором эксперименте



По результатам анализа показаний приборов были сделаны следующие предположения:

- плохая защита коммуникационных проводов от возможных наводок;
- отсутствие фиксации установки и недостаточная устойчивость её конструкции;
- некорректная настройка библиотеки PySerial.

Для преодоления проблем, связанных с особенностями конструкции и её креплением, было принято решение собрать вторую установку третий эксперимент.

5. ТРЕТИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Целью этого эксперимента являлось точное, с минимальными погрешностями, получение изменение углов собственного вращения гироскопа. В качестве материальной базы эксперимента, были выбраны микроконтроллер Arduino Nano и микроэлектромеханический датчик Bosch BNO080. Для третьего эксперимента была использована установка, основанная на сервоприводе (рисунок 5).

В процессе эксперимента, крестовина гироскопа с закрепленной на ней планкой с датчиком вращалась. Управление вращением производилось с помощью джойстиков. Данные о положении гироскопа считывались и передавались на компьютер тем же способом, что и во втором эксперименте. Принимающая же часть была полностью переделана. На этот раз принимающая часть была реализована с помощью NodeJS 15.6.0, serialport 9.0.4, d3 6.2.0 и electron 10.1.5.

Результатом данного эксперимента явилось существенное улучшение точности определения углов собственного вращения гироскопа. Результат изображен на рисунке 6.

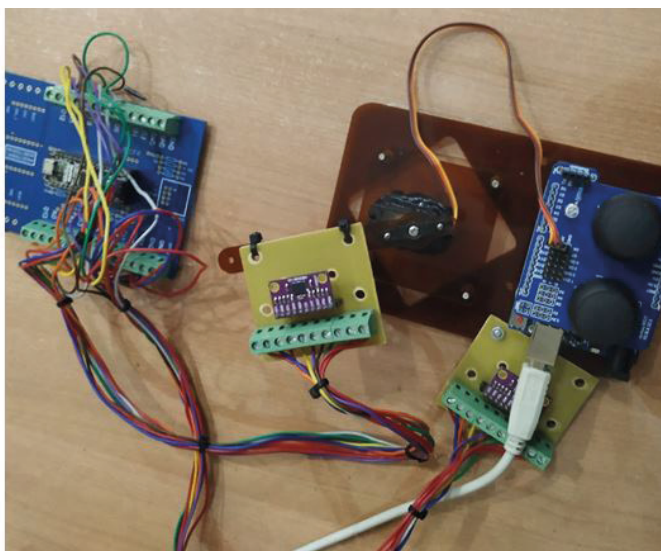


Рис. 5. Установка на базе сервопривода

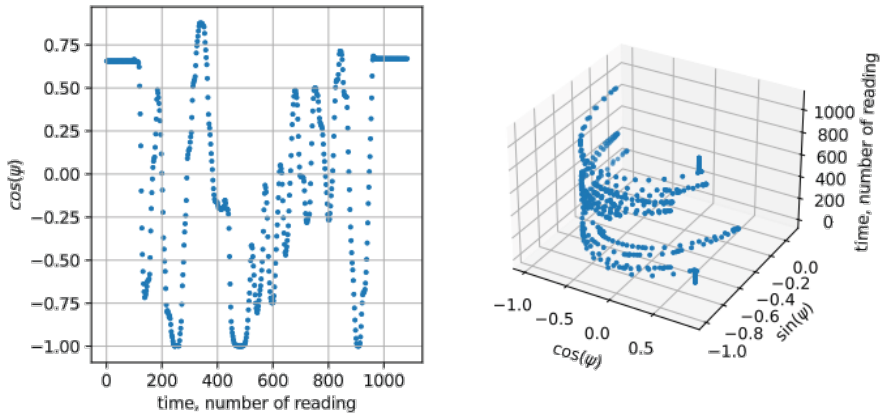


Рис. 6. Зависимость тригонометрических функций угла от времени в третьем эксперименте

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследования были разработаны, реализованы и протестированы две математические модели отслеживания движения человеческой конечности в трехмерном пространстве с помощью МЭМС датчиков. В результате реализации и тестирования первой модели выяснилось, что в конкретном случае она неприменима ввиду того, что она не позволяет добиться приемлемой, для решения поставленной задачи, точности.

В результате двух экспериментов, направленных на реализацию и тестирование второй математической модели, удалось разработать алгоритм получения углов собственного вращения гироскопов. Основываясь, на данном алгоритме возможно создание системы отслеживания движения человеческой конечности.

Литература

1. BNO080 Datasheet. – URL: https://cdn.sparkfun.com/assets/1/3/4/5/9/BNO080_Datasheet_v1.3.pdf. – (дата обращения: 11.10.2020).
2. Louis L. Working principle of Arduino and using it // International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJCACS). – 2016. – Т. 1, No 2. – С. 21–29.
3. The MIT License | Open Source Initiative. – URL: <https://opensource.org/licenses/MIT>. – (дата обращения: 11.10.2020).
4. Карпенко В.С. Применение микроэлектронных датчиков акселерометров, гироскопов и магнетометров в системах управления // Наука – перші кроки : тези доп. XIII регіон. студент. наук.техн.конф. (Маріуполь, 2226 квітня 2019 р.) : в 4 т. ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Т. 3. – С. 11



Development of a Mathematical Model for Tracking Movement of a Human Limb in Three-Dimensional Space Using MEMS Sensors

Nikita I. Levonovich*

Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8580-0490>
e-mail: levonikitech@yandex.ru

This article discusses the development of a mathematical model for a device capable of tracking the movements of a human limb based on the readings of microelectromechanical sensors. For developing and selecting the most suitable model, experiments were conducted based on publicly available components. The result obtained is of practical importance since it can be used to create a device.

Keywords: control systems, virtual reality, microelectromechanical sensors, Kalman filter, microcontrollers, MEMS.

For citation:

Levonovich N.I. Development of a Mathematical Model for Tracking Movement of a Human Limb in Three-Dimensional Space Using MEMS Sensors. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2021. Vol. 11, no. 3, pp. 74–82. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110305> (In Russ., abstr. in Engl.).

References

1. BNO080 Datasheet. – URL: https://cdn.sparkfun.com/assets/1/3/4/5/9/BNO080_Datasheet_v1.3.pdf. – (date of the application: 11.10.2020).
2. Louis L. Working principle of Arduino and using it. *International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJCACS)*. – 2016. – T. 1, No 2. – С. 21–29.
3. The MIT License | Open Source Initiative. – URL: <https://opensource.org/licenses/MIT>. – (date of the application: 11.10.2020).
4. Karpenko V.S. Primenenie mikroelektronnykh datchikov akselerometrov, giroskopov i magnetometrov v sistemakh upravleniya. *Nauka – pershi kroki : tezi dop. XIII region. student. nauk. tekhn.konf. (Mariupol', 22–26 kvitnya 2019 r.)* : v 4 t. DVNZ «PDTU». – Mariupol', 2019. – T. 3. – p. 11

***Nikita I. Levonovich**, student, Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8580-0490>, e-mail: levonikitech@yandex.ru



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 378

Актуальность проблемы разработки математических моделей для решения задач экспорта образования в Российской Федерации

Горбатов А.В. *

Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИСиС»
(ФГБОУ ВО НИТУ МИСиС), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5061-4831>
e-mail: avgorbatov@mail.ru

Горбатова М.В. **

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(Московский инженерно-физический институт)
(ФГБОУ ВО НИЯУ МИФИ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4429-4832>

В статье рассматривается текущее состояние дел при реализации внутрироссийских и международных проектов с участием российских университетов в области экспорта образования. На основе богатого личного опыта авторов проводится описание типовых проблем, в данной сфере возникающих. Предлагается совмещение организационных и математических подходов в качестве того пути, которым целесообразно двигаться для достижения практически значимых результатов в рассматриваемой области. В статье не рассматриваются практические аспекты проектов, которые в настоящее время находятся в стадии реализации с участием российских и зарубежных университетов и индустриальных партнеров. Результаты данных проектов и полученные практические результаты будут доложены отдельно. В данной статье осуществляется только постановка проблемы.

****Горбатов Александр Вячеславович***, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированного проектирования и дизайна Национального Исследовательского Технологического Университета «МИСиС» (ФГБОУ ВО НИТУ МИСиС), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5061-4831>, e-mail: avgorbatov@mail.ru

*****Горбатова Марина Вячеславовна***, кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (Московский инженерно-физический институт) (ФГБОУ ВО НИЯУ МИФИ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4429-4832>



Ключевые слова: экспорт образования, образование, обучение.

Для цитаты:

Горбатов А.В., Горбатова М.В. Актуальность проблемы разработки математических моделей для решения задач экспорта образования в Российской Федерации // Моделирование и анализ данных. 2021. Том 11. № 3. С. 83–91. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110306>

1. ВВЕДЕНИЕ

Данная статья ставит перед собой задачу не решить, а обозначить важнейший, на взгляд, авторов, вопрос для российской Высшей школы – а именно, вопрос ее выживания и развития путём поиска и освоения новых для него рынков. Прежде всего, в иноязычных сегментах. Другими словами, говорить мы будем об экспорте российского образования. А также о том, что действовать при решении задач в этой области надо не «на ощупь», а не забывая о том, что математическая школа в нашей стране по-прежнему остаётся сильной и моделировать процессы – один из самых эффективных способов избежать традиционной забавы, известной как «танец на граблях».

2. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ВОПРОСА

В настоящее время в мире наблюдаются тенденции к значительным изменениям в сфере высшего образования, которые открывают широчайшие возможности перед теми, кто будет обладать пониманием ситуации и волей этими изменениями воспользоваться.

По сути дела, речь идёт о том, что появилась возможность входа на высокомаржинальный в среднесрочной перспективе глобальный рынок образования. При том, что цена входа в настоящий момент минимальна за всё время существования известной нам традиционной современной системы университетов Гумбольдтовского типа.

Уровень реальной конкуренции при решении обозначенной задачи будет оставаться незначительным на протяжении ближайших 6–36 месяцев, что обуславливается рядом факторов и, прежде всего, отсутствием на рынке игроков, ориентированных в условиях обильного бюджетного финансирования на работу с реальным частным платёжеспособным спросом при условии предоставления качественного образовательного контента.

А зачем, собственно, нужно образование?

3. ЗАДАЧИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И МЕСТО НАШЕГО ПРОЕКТА В НИХ

А нужно ли вообще высшее образование? Вопрос совсем нелишний. Возможно, целесообразно окончательное замещение системы образования системой обучения, что мы и видим в настоящее время в некоторых странах?



Давайте разберёмся, какие задачи решает система образования, а какие – система обучения.

Образование должно дать возможность человеку самостоятельно решать четыре последовательно возрастающих по своей сложности задачи. Точнее помочь человеку ответить всего на четыре вопроса.

Вопрос первый. Как прокормить себя и свою семью? Здесь всё понятно.

Вопрос второй. Как жить с другими? Наш мир сложен. Даже если опустить национальные, религиозные, языковые, гендерные и культурные различия, то всё равно каждый человек настолько не похож на других, что обусловлено высокой индивидуальной изменчивостью морфологии головного мозга, что вполне уверенно можно утверждать то, что известное высказывание Жана-Поля Сартра «Ад – это другие» не потеряло и ещё долго не потеряет свою актуальность.

Вопрос третий. Как жить с самим собой?

И, наконец, четвёртый вопрос, который состоит из двух частей. Как жить в мире, если Бог есть? И гораздо более сложный вопрос – как жить в мире, если Бога нет?

Давайте честно сами у себя спросим, массовая система высшего образования и образования вообще помогает человеку дать себе ответы на эти вопросы? Ну, на первый, отчасти, помогает. С остальными пока заминка.

А чем занимается обучение?

Открываем документы, связанные с Болонским процессом и там находим все ответы.

Система образования имеет своей целью инсталлировать человеку целостную картину мира. Обучение в рамках Болонского процесса решает несколько другие задачи, тоже, разумеется, важные.

Поэтому, когда мы в данной статье будем говорить о системе образования и упоминать сам термин «образование», надо учитывать, что речь идёт о сложившейся на практике комбинации «образования и обучения с явным уклоном в сторону обучения.

Итак, в качестве тех задач, для качественного решения которых собственно и существует система высшего образования, выделяем:

1. Формирование заданной идентичности молодежи.
2. Социализация молодых людей в качестве полноценных членов общества, способных обеспечить свое экономическое выживание и развитие, опираясь на знания и навыки, полученные за время обучения в ВУЗе.
3. Подготовка для национальной экономики тех профессиональных кадров, которые востребованы в настоящее время и смогут в дальнейшем оставаться востребованными за счет выработанной способности к периодическому дополнительному обучению, включая самообразование с помощью Интернет технологий.
4. Обучение иностранных граждан в целях продвижения на глобальном рынке своих товаров, услуг и идей.

4. НАЛИЧИЕ СПРОСА – СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА ВЫЖИВАНИЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ РОССИИ

Спрос. Все мы слышали это слово. Но задумывались мы с вами о том, как фор-



мируется спрос на то, что сейчас принято называть «образовательными услугами» и каковы перспективы его динамики?

Традиционно для сферы высшего образования можно было выделить три вида спроса:

1. Государственный,
2. Корпоративный,
3. Частный.

В свою очередь, каждый из них можно разделить на внутренний и внешний.

Для Советского Союза был характерен только внутренний государственный спрос на образовательные услуги с добавлением внешнего спроса, который, тем не менее, на уровне ВУЗа все равно выглядел как внутренний государственный спрос. Именно под него и была выстроена, и десятилетиями заточена, вся система высшего профессионального образования СССР, а значит и РСФСР, правопреемницей которой является Российская Федерация.

Драматичные изменения 1991–1992 годов не обошли стороной и Высшую школу. Государственный спрос на результат её деятельности, высококвалифицированные кадры, стал стремительно уменьшаться. Являвшийся, по сути, единой сверхкорпорацией СССР перестал существовать и, соответственно, пропала необходимость в восполнении его кадрового потенциала. Высшая школа осталась без основного источника спроса, а значит и финансирования. Подразумевалось, что государственный спрос будет заменен спросом частным и корпоративным. Однако и тот, и другой оказались слишком незначительными для замещения тех средств, которые ранее выделялись государством. Итогом отсутствия платежеспособного спроса на образовательные услуги стало укрупнение ВУЗов, изменение соотношения студент/преподаватель и целый ряд других оптимизационных мероприятий.

Инфраструктура Высшей школы СССР была рассчитана на гораздо больший объём рынка, чем сегодняшняя Российская Федерация. Помимо собственно Советского Союза это были и все страны социалистического содружества, и многие развивающиеся страны. Емкость рынка тогда, когда современная система образования создавалась может быть оценена не в три и не в пять сотен миллионов потребителей. С учетом отсутствия информационных технологий современного уровня, конкуренция со стороны дистанционного образования практически отсутствовала.

А что же сегодня? Наш рынок это несколько больше, чем сто пятьдесят миллионов потенциальных потребителей. И всё. А это для нашей образовательной инфраструктуры катастрофически мало. Плюс к этому, жесткая конкуренция с интернет образованием, прежде всего иностранным, которое начало вытеснять нас с нашего собственного внутреннего рынка. Плюс отток наших студентов в иностранные бакалавриаты и магистратуры. Плюс наличие внутри России значительного количества коммерческих вузов со, скажем так, заниженными требованиями к студенту.

Вывод неутешителен. Платежеспособный спрос на качественные образовательные услуги, характерные для российской Высшей школы, неуклонно сокращается. Наш реальный рынок продолжает уменьшаться.



Надо раз навсегда понять, что сокращение числа преподавателей, кафедр и вузов не чей-то злобный замысел, а, увы, жесткие реалии капиталистической системы, в рамках которых мы с вами сейчас живём и работаем. Нет спроса – неизбежно сокращается и предложение.

Выход из сложившегося положения не может быть простым. Если мы хотим сохранить Высшую школу России и выжить и преуспеть сами, то нам придется и защищать свой внутренний рынок, предлагая более качественные и востребованные образовательные продукты, и активно развивать иноязычные образовательные программы для того, чтобы успешно конкурировать на глобальном рынке образовательных услуг, и предпринимать усилия по ряду других направлений.

Без должного уровня платежеспособного спроса российской Высшей школе не выжить, а значит не выжить и России в качестве высокоразвитой страны, у которой есть будущее.

Без своего, пригодного только для своей страны, адаптированного под свою сложную и уникальную культуру, образования ни одна страна, ни одно государство не имеет не только светлого будущего, но, как мы опасаемся, и будущего вообще. Исключений не бывает.

Нашей первой задачей является поиск существующих и формирование новых источников спроса на те услуги и товары, прежде всего в информационном сегменте, которые мы можем предлагать на достаточно конкурентоспособном уровне.

Вывод: нам необходимо на всех уровнях системы образования в кратчайшие сроки сформировать или же найти новые источники спроса на наши услуги.

Наиболее очевидным представляется работать с платёжеспособным частным спросом на образовательные услуги на глобальном уровне с всесторонним использованием тех широких возможностей, которые предоставляют нам современные технологии в сочетании с богатыми традициями российской академической среды.

5. НЕМНОГО ОБ ЭКСПОРТЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Одной из важнейших задач, стоящих перед системой высшего образования РФ в настоящий момент является всестороннее развитие экспорта российского образования. Важно как удерживать за собой те рынки, на которых российское образование присутствует исторически, так и осваивать новые для него рынки.

Потенциальные объёмы мирового рынка образования впечатляют.

Например, в 2019 году, согласно EdMarket.Digital, весь мировой рынок образования оценивался в 6,5 трлн. долл. Объем российского рынка составляет 31 млрд. долл.

Развитие экспорта образования является одновременно лучшим способом защитить наш внутренний образовательный рынок и существенно поднять уровень преподавания в российских ВУЗах, что позволит более эффективно обеспечивать национальную экономику высокопрофессиональными кадрами.

Излишне также упоминать, что именно экспорт образования является одним из самых эффективных инструментов мягкой силы.



Решение этой важнейшей задачи невозможно без широкого привлечения к ее практическому осуществлению всех заинтересованных участников образовательного процесса в нашей стране, к числу которых относятся профильные органы государственного управления, вузы, общественные организации, связанные в высшем образовании.

Например, в своём ежегодном послании Федеральному собранию Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин в 2018 году поставил абсолютно конкретную задачу в области экспорта российского образования.

Цитата: «Необходимо в ближайшие шесть лет удвоить объем несырьевого, неэнергетического экспорта до \$250 млрд. Довести поставки продукции машиностроения до \$50 млрд. До \$100 млрд. должен вырасти ежегодный экспорт услуг, включая образование, медицину, туризм.»

Конечно, можно сказать, что известные события внесли свою коррективу в эти планы, однако, будем честны, и без ограничений медицинского характера наше образование вряд ли бы вышло на указанные Президентом числа к 2024 году.

Рассмотрим только один пример. Самой успешной программой Европейского Союза, безусловно, является программа Erasmus. Данная программа напрямую связана с международным сотрудничеством в области образования. В рамках данной программы Россия имеет статус страны партнёра. Какими результатами мы, как страна со 145.000.000 населения и развитой системой образования можем похвастаться за 5 лет активной работы в рамках данной программы? 69 проектов по направлению Capacity Building (разработка совместных образовательных программ и т.д.), 23.000 грантов на академическую мобильность, 151 проект по направлению Jean Monnet, около 280 студентов получили гранты в рамках программы Erasmus Mundus Joint Master Degrees, 35 российских университетов стали полноправными или ассоциированными членами Erasmus Mundus Joint Master Degrees. И это за пять лет?

Данные результаты характеризуют не наш Национальный офис программы Эразмус, который работает с высокой эффективностью. Эти числа описывают общую ситуацию с экспортом российского образования. Разве нам не интересен европейский рынок? Очень интересен. Так почему мы не разрабатываем программы двойного дипломирования и не выходим с ними на новые для нас рынки используя возможности, которые даёт программа Эразмус?

Подобных вопросов можно задать много. Так в чём же дело?

6. РОЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЭКСПОРТА РОССИЙСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Почему же так выходит? Почему потенциально одна из сильнейших систем образования в мире не может гибко осваивать новые рынки образовательных услуг, опережая конкурентов? Почему мы не используем свои возможности по ценовому демпингу в сфере образования?



Авторам данной статьи кажется, что значимая причина не самых больших результатов, достигаемых Россией в сфере образования кроется в том, что работа в этом направлении носит достаточно случайный, эпизодический и, позвольте употребить это слово, хаотичный характер.

Российские университеты почти не образуют совместных консорциумов для выхода на новые сегменты рынка. Что позволило бы максимально усилить их потенциал.

Важнейшей причиной того, что так получается, является не отсутствие планов действий. Планов хватает. Однако, складывается ощущение, что под эти планы не подложена в качестве фундамента грамотно разработанная математическая модель, которая могла бы быть быстро перенастраиваемой под меняющиеся реалии мирового рынка образовательных услуг и позволяла быстро концентрировать усилия на тех направлениях, на которых возможно достижение максимального эффекта в короткие сроки.

В итоге, не имея реалистичной математической модели большие усилия сотрудников российских университетов дают непозволительно малую отдачу.

Выходом из сложившейся ситуации могло бы стать комбинирование разработанной математической модели, описывающей все значимые для достижения положительного конечного результата факторы, а также учитывающая наиболее значимые риски с созданием на её основе сетевой организационной структуры, способной решать следующие задачи:

1. Оперативно готовить и предоставлять качественный образовательный online контент, прежде всего, англоязычный
2. Осуществлять адресное донесение данного контента до максимально широкой аудитории в глобальном масштабе в максимально удобном формате
3. Предоставить опциональную возможность проведения offline стажировок в широкой сети организаций партнёров проекта
4. Обеспечить по окончании обучения выдачу дипломов ведущих российских вузов и вузов партнёров в других странах, в том числе, и в формате множественного дипломирования (получение дипломов/сертификатов двух и более учебных заведений по окончании обучения в рамках одной образовательной программы)
5. Гибко реагировать на происходящие на образовательном рынке изменения в части изменения структуры частного спроса

Для успешной реализации обозначенных выше задач предлагается сформировать сетевую инфраструктуру в составе:

1. Компании – интегратора разнородных усилий
2. Индустриального партнёра проекта в лице глобального оператора связи
3. Индустриального партнёра проекта в лице оператора социальных сетей
4. Компании разработчика специализированного сетевого приложения
5. Группы по продвижению образовательных услуг на глобальном рынке
6. Консорциума ведущих университетов России, обеспечивающего взаимное признание образовательных курсов/модулей друг друга при выдаче дипломов
7. Группы/лиц, обеспечивающих взаимодействие с профильными для проекта органами государственной власти



8. Инфраструктуры по подготовке качественного образовательного контента, втягивающей в сферу своей деятельности лучших преподавателей и практикующих в различных областях специалистов для проведения отдельных курсов и мастер классов
9. Набора инструментариев по проникновению на нетрадиционные для российского образования географические рынки
10. Группы по взаимодействию с партнёрами проекта при осуществления стажировок обучающихся.

У одного из соавторов данной статьи имеется определённый практический опыт работ в данной сфере, который, как мы верим, будет реализован на прикладном уровне при решении той важнейшей для нашей страны задачи, о которой шла речь в статье.



The Relevance of the Problem of Developing Mathematical Models for Solving the Problems of Education Export in Russian Federation

Alexander V. Gorbatov*

National Research Technological University “MISIS”
(FGBOU VO NUST MISIS), Moscow, Russian Federation
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5061-4831>
e-mail: avgorbatov@mail.ru

Marina V. Gorbatova**

National Research Nuclear University “MEPhI”,
(FGBOU VO NRNU MEPhI), Moscow, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4429-4832>

The article is devoted to the current situation in the implementation of domestic and international projects with the participation of Russian universities in the field of education export. Based on the rich personal experience of the authors, a description of typical problems arising in this area is carried out. A combination of organizational and mathematical approaches is proposed as the way that it is advisable to move to achieve practically significant results in the area under consideration. The article does not consider the practical aspects of projects that are currently underway with the participation of Russian and foreign universities and industrial partners. The results of these projects and the obtained practical results will be reported separately. In this article, only the statement of the problem is carried out.

Keywords: export of education, education, training.

For citation:

Gorbatov A.V., Gorbatova M.V. Relevance of the problem of developing mathematical models for solving the problems of exporting education in the Russian Federation. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2021. Vol. 11, no. 3, pp. 83–91. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2021110306> (In Russ.,abstr. in Engl.).

***Alexander V. Gorbatov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Aided Design and Design of the National Research Technological University “MISIS” (FGBOU VO NUST MISIS), Moscow, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5061-4831>, e-mail: avgorbatov@mail.ru

****Marina V. Gorbatova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, National Research Nuclear University “MEPhI” (Moscow Engineering Physics Institute) (FGBOU VO NRNU MEPhI), Moscow, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4429-4832>

Моделирование и анализ данных 2021. Том 11. № 3.

Научный журнал

Издаётся с 2011 года

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный психолого-педагогический университет»

Адрес редколлегии:

г. Москва, ул. Сретенка, 29, факультет информационных технологий

Тел.: +7 (499) 167-66-74

E-mail: mad.mgppu@gmail.com

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете РФ по печати.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации

ПИ № ФС77-52058 от 7 декабря 2012 года

ISSN: 2219-3758

ISSN: 2311-9454 (online)

Подписано в печать: 11.10.2021.

Формат: 70*90/16. Бумага офсетная.

Гарнитура Times. Печать цифровая.

Усл. печ. п. 5,8. Усл.-изд. л. 6,7.

Тираж 500 экз.