

Математические методы многомерного статистического анализа глобальных университетских рейтингов

В.М. Московкин,

д-р геогр. наук, директор Центра развития публикационной активности, профессор кафедры мировой экономики, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (e-mail: moskovkin@bsu.edu.ru)

Хэ Чжан,

аспирант кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (e-mail: 1098006@bsu.edu.ru)

М.В. Садовски,

канд. филос. наук, доцент кафедры дошкольного и специального (дефектологического) образования, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (e-mail: sadovski@bsu.edu.ru)

В.В. Куренная,

д-р экон. наук, профессор кафедры менеджмента и маркетинга, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (e-mail: kurennaia@mail.ru)

Аннотация. Проведен обзор литературы по многомерному статистическому анализу глобальных университетских рейтингов в контексте их подобия и чувствительности к изменению весовых коэффициентов индикаторов, послойным корреляциям между индикаторами и интегральными показателями рейтингов. Данный обзор показал, на необходимость прорабатывать послойные корреляции на систематической основе, что проделано для TOP – 100 ARWU с тремя слоями, TOP- 200 THE с семью слоями и TOP – 210 QS с семью слоями за три года (2018 – 2020 гг.). Отмечена большая послойная неоднородность рейтингов, в которых корреляция между значениями их индикаторов и интегральными показателями убывает от верхних слоев к нижним. Показано, что послойный выбор наиболее коррелируемых пар индикаторов и интегральных показателей позволяет решать управленческие задачи по более осмысленному продвижению университетов в глобальных университетских рейтингах.

Abstract. A review of the literature on multivariate statistical analysis of global university rankings in the context of their similarity and sensitivity to changes in indicator weights, layer-by-layer correlations between indicators and integral indicators of rankings is carried out. This review showed the need to perform layer-by-layer correlations on a systematic basis, which was done for TOP - 100 ARWU with three layers, TOP - 200 THE with seven layers and TOP - 210 QS with seven layers over three years (2018 - 2020). A large layer-by-layer heterogeneity of ratings was noted, in which the correlation between the values of their indicators and integral indicators decreases from the upper layers to the lower ones. It is shown that the layer-by-layer selection of the most correlated pairs of indicators and integral indicators allows solving managerial tasks for a more meaningful promotion of universities in global university rankings.

Ключевые слова: многомерный статистический анализ, университетские рейтинги, подобие рейтингов, чувствительность рейтингов, послойные корреляции, ARWU, QS, THE, Overall Score, Total Score.

Keywords: multivariate statistical analysis, university rankings, ranking similarity, ranking sensitivity, layer-by-layer correlations, ARWU, QS, THE, Overall Score, Total Score.

Введение

Как отмечалось в обзоре к работе [1] всеобщий интерес к «университетской репутационной гонки» и к «университетскому религиозному ритуалу» привел к созданию множества мировых университетских рейтингов. Создание каждого из них сильно подстегивало репутационную и публикационную гонку в своих регионах, а также

глобально. В настоящее время мы насчитали 13 таких рейтингов, которые обобщили в таблице 1. Как раз множество рейтингов и необходимость их сравнительного анализа, а также наличие в них множества индикаторов позволяет рассматривать их как многомерные объекты и говорить об их многомерном анализе.

Глобальные университетские рейтинги и их избранные характеристики

№	Рейтинг	Год запуска	Кол-во ранжируемых университетов (год)	Примечания
1	ARWU (Шанхай, Китай)	2003	1000 (2020)	Статистические данные (наукометрические индикаторы)
2	THE (Великобритания)	2004	1526 (2020 - 2021)	С 2004 по 2009 это был единый рейтинг совместно QS; с 2010 – независимые рейтинги. Данные статистики и опросов
3	QS (Великобритания)	2004	1002 (2020-2021)	С 2004 по 2009 это был единый рейтинг совместно QS; с 2010 – независимые рейтинги. Данные статистики и опросов
4	Webometrics (Испания)	2004	Около 12000 (Январь 2020)	Анализируются все университеты мира с собственными сайтами (около 25000 университетов). Статистические вебометрические данные
5	NTU (Тайвань)	2007	826 (2020)	Статистические данные (наукометрические индикаторы)
6	CWTS Leiden (Нидерланды)	2007	176 (2020)	Статистические данные (наукометрические индикаторы)
7	SCimago Institution Ranking (SIR) (Испания)	2009	3897 (2020)	Статистические данные (наукометрические индикаторы)
8	URAP (Турция)	2010	2500 (2019-2020)	Статистические данные (наукометрические индикаторы)
9	CWUR (Саудовская Аравия)	2012	2000 (2020-2021)	Статистические данные (наукометрические индикаторы)
10	Round University Ranking (RUR) (Россия)	2013	829 (2020)	Вычисления начали делаться с 2010 года. Данные статистики и опросов
11	US NEWS Ranking (США)	2014	1503 (2020)	Запущен в 1983 как национальный рейтинг. Первый Best Global University Ranking запущен в 2014 году. Данные статистики и опросов
12	U-multirank (ЕС)	2014	1759 (2020)	28 предметных рейтингов, интерактивная карта TOP-100 университетов. Данные статистики и опросов
13	MoslUR (Россия)	2017	1500 (2020)	Статистические данные (наукометрические индикаторы)

Все данные в таблице 1 собраны с сайтов университетских рейтингов 10 июля 2020. Они хорошо показывают сущность репутационной гонки, а именно в середине 2020 г. все рейтинговые агентства объявляют свои рейтинги 2020 годом, хотя итоги должны подсчитываться в конце года, или в самом начале следующего года. Три рейтинга объявлены 2020 – 2021 гг., что вообще бессмысленно. Всё это очень затрудняет сравнительный анализ мировых университетских рейтингов.

Например, когда авторы работы [2] захотели выбрать для кросскорреляционного анализа индикаторы университетов, входящих одновременно в три рейтинга, за 2016 год, то им пришлось брать QS за 2018 год, THE за 2017-2018 гг. и ARWU за 2017 год.

Существует большой пласт работ с критикой таких рейтингов, сводящийся к невозможности сравнения очень разных по своим миссиям и характеристикам университетов, субъективному выбору частных индикаторов и их весов.

Наиболее основательный обзор таких работ проделан в работах К.С. Сох [3-5], который также впервые обратил внимание на парадокс Симпсона (Simpson's Paradox), на путанные факторы в университетском ранжировании и на бо-

лезненные эффекты противоречий между номинальными и принятыми весами индикаторов.

Естественно, что большое количество различных мировых университетских рейтингов привело к их сравнительному анализу. В начале, как отмечается в работе [6] возник большой кластер публикаций, посвященный качественному сравнительному анализу различных методологий этих рейтингов, а позже появился кластер публикаций по их количественному сравнительному анализу, фокусирующихся на Pearson's / Spearman's корреляциях и на перекрытиях рейтингов.

Обзор работ второго кластера публикаций, обычно, начинают с работы I. Aguillo с соавторами [7]. К моменту сбора данных в этой работе (конец 2008 г.), как видно в таблице 1, сформировались пять мировых университетских рейтингов, которые и были рассмотрены в вышеуказанной работе. Но так как рейтинг CWTS Leiden учитывал только европейские университеты, то он был исключен из дальнейшего рассмотрения.

В работе [7] использовались три рангово-порядковые (rank-order) меры подобия для изучения корреляции среди результатов 2008 года четырех рейтингов: ARWU, THE-QS, WR (Webometrics) и HEEACT. В качестве этих коли-

чественных мер брались размер перекрытия (size of the overlap, O), Spearman's footrule (F) и M -measure (M). Расчеты по этим трём мерам для четырех рейтингов проделаны для TOP-10, 100, 200 и 500 университетов.

С увеличением числа университетов, в целом, значения этих трёх мер (O , %) возрастали, то есть улучшалась и степень подобия между университетскими ранжировками.

Наилучшая степень подобия обнаружена между ARWU и HEEACT, а наихудшая между THE-QS и WR. Это естественно связано с наилучшей близостью методологий ранжирования университетов в первом случае, и с наибольшим их расхождением во втором случае. Этот же результат для первого случая был подтвержден в работах [8,9].

Кроме того, были сделаны расчеты значений этих трех мер для ARWU и THE-QS, и парных лет из интервала 2005-2008 гг., что показало стабильность ранжировок университетов во времени, но значения F и M для ARWU были выше.

Важно отметить, что M -measure вводилась для выравнивания числа университетов для разных рейтингов, то есть для расчета подобия ранжирования не пересекающихся списков университетов. Если имеется два рейтинга с разным количеством университетов ($M, N, M > N$), то для выравнивания их перечней, в рейтинг с меньшим перечнем вводятся университеты с большим их числом в количестве $M - N$ под одними и теми же рангами равными $N+1$. Такая процедура была предложена в работе [10], а в дальнейшем была усовершенствована в работе [11, 12]. Она названа M -measure и является нормализованной мерой подобия. Во всех случаях расчетов F и M , их значения оказались достаточно близкими [7]. Очевидно, что во всех расчетах значения M не много меньше, чем значения F .

Основная идея работы [7] была использована в работе [6], в которой M -measure была заменена коэффициентом корреляции Пирсона для меры подобия Overall Score двух рейтингов. Здесь отметим, что ранжированию университетов во всех рейтингах предшествует расчёт их интегральных показателей, которые в зависимости от названия рейтингов называются Overall Score или Total Score. Эти интегральные показатели вычисляются на основе отдельных индикаторов с помощью аддитивной взвешенной функции.

Расчеты проведены для ARWU, USNEWS Ranking (в работе USNWR), THE, QS, NTU и URAP на уровень 2015 г. для TOP-50, 100 и 200 университетов.

В целом, как и в работе [7], значения O (процент перекрывающихся университетов) и F (коэффициент корреляции Спирмана) росли с ростом числа TOP университетов. При этом значения коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмана были достаточно близкими.

Расчеты по продольной внутрисистемной корреляции (longitudinal intra-system correlation) для рейтинга ARWU на пятилетнем интервале времени (2011-2015) хорошо согласуются с данными полученными [7] на четырехлетнем интервале (2005 – 2008) для рейтинга ARWU.

И совсем недавно методология работы [7] была использована в работе [13] для сравнительного анализа ARWU, THE и QS на семилетнем интервале времени (2012-2018). В этой работе все три меры O , F и M были рассчитаны по годам для TOP-50, TOP-50-100, TOP-100 при попарных сравнениях трех рейтингов. В целом, ранжировки для TOP-50 и TOP-100 вполне подобны между всеми рейтингами. В TOP-50-100 подобие было плохое (небольшое значение O и низкие значения F и M).

Аналогичный продольный анализ на семилетнем интервале времени, включая все попарные сочетания разных лет показал, что все ранжировки по всем трем рейтингам оказались стабильными во времени. Например, для ARWU мера O изменялась от 85 до 98%, F – от 0,89 до 1,0, M – от 0,89 до 0,99.

Итак, в целом, результаты работ [7, 13, 6] приводят к близким результатам. Но в работе [13] был обнаружен интересный эффект. Несмотря на то, что подобие различных рейтингов для TOP-50 и TOP-100 хорошее, оно резко ухудшается при сравнении последних 50-ти университетов в TOP-100 этих рейтингов.

Подтверждение этого эффекта мы находим в работе [14], в которой изучались подобие и статус ведущих азиатских университетов в TOP – 200 рейтингов ARWU, QS, THE, HEEACT, Webometrics and CWTS Leiden (для 2010 г.). Они получили коэффициенты корреляции Спирмана равными 0,78, 0,53, 0,58, для пар рейтингов QS-Webometrics, QS-THE и ARWU-HEEACT, соответственно. В тоже время, ранее на примере многих работ, нами была показана очень высокая степень подобия между рейтингами ARWU и HEEACT. В данном случае низкий коэффициент корреляции Спирмана между этими рейтингами объясняется тем, что рассматриваемы азиатские университеты находились в нижних частях этих рейтингов. Это согласуется с расчетами, проделанными в работе [13].

В дополнение к работе [6] мы обнаружили работу [15], в которой проделана парная корреляция Пирсона для TOP-10, TOP-50 и TOP-100 рейтингов THE, QS, ARWU, Leiden и URAP на уровень 2015 г.

Но она проделана не на пересекающихся перечнях университетов, как в ранее рассмотренных работах, а с помощью сопоставления рангов заданного конкретного рейтинга с другими рейтингами с такими же количествами университетов. Интересно увидеть различия в такой корреляции. Покажем это на сопоставимых рейтингах последних двух работ для TOP-50 (табл. 2, 3).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции Пирсона для TOP-50 университетов в рейтинге THE с остальными тремя рейтингами [15]

Рейтинг	THE	QS	ARWU	URAP
THE	1			
QS	0,7342	1		
ARWU	0,6303	0,6193	1	
URAP	0,4104	0,5269	0,4324	1

Таблица 3

Коэффициенты корреляции Пирсона для TOP-50 перекрывающихся университетов в четырех рейтингах [6]

Рейтинг	THE	QS	ARWU	URAP
THE	1			
QS	0,765 (35)	1		
ARWU	0,700 (35)	0,607 (29)	1	
URAP	0,556 (34)	0,394 (32)	0,619 (35)	1

Примечание: в скобках даны количества перекрывающихся университетов.

Как видим, две кросскорреляционные матрицы существенно отличаются друг от друга, что и следовало ожидать. При этом в работе [15] не отмечено, какой ранг берется за основу при интервальных оценках в ARWU (101-150, 151-200, 301-400), а также в редких случаях отсутствия ранга для рейтингов QS, ARWU и URAP. Можно правда предположить, что при интервальных оценках берется середина интервала.

Очевидно, что если в работе [15] мы вместо TOP-50 университетов в рейтинге THE возьмем TOP-50 университетов в других рейтингах, то мы получим другую кросскорреляционную матрицу. Например, для TOP-50 университетов в рейтинге THE соответствующих рангов в TOP-50 университетов в рейтинге ARWU было равно 35.

Впервые в 2017 г. в сравнительный анализ глобальных университетских рейтингов был вовлечен U-Multirank рейтинг [16]. Он был создан Европейской Комиссией в ответ на резкую критику существующих университетских рейтингов. Рейтинг U-Multirank сравнивает университеты с подобными профилями и разрешает пользователям учитывать свои собственные предпочтения при работе с этим рейтингом. Этот рейтинг по своей сути является многомерным и позволяет строить 28 предметных рейтингов. В нем отсутствует возможность проведения кросскорреляционного анализа с другими глобальными университетским рейтингами, так как он не ранжирует университеты обычным образом.

H.F. Moed [16] взял его данные за 2016 год для сравнительного анализа с рейтингами ARWU (2015), CWTS Leiden (2016), THE (2015-2016) и QS (2015-2016), так как этот рейтинг выделяет TOP-100 университетов и позволяет получить количественные данные по его отдельным индикаторам.

Им были получены университетские пересечения между пятью рейтингами, показано, что для TOP-100 этих рейтингов общее число различных университетов равнялось 194, и пересекающихся университетов – 35. Построены все

парные перекрытия (пересечения) для TOP-100 рассматриваемых рейтингов. Рассчитаны первые пятерки стран по количеству университетов в 5-ти рейтингах. Любопытны данные по первым лидирующим странам: ARWU: USA (506/146); CWTS Leiden: USA (840/173); THE: UK (800/78); QS: UK (917/75); U-Multirank: Germany (1293/84). Здесь в числителе показано общее количество университетов в рейтинге, а в знаменателе – количество университетов данной страны в этом рейтинге.

Отметим, что A.-P. Pavel [17] получил распределение университетов в TOP-20, 100, 200, 300, 400, 500 рейтинга ARWU для 10-ти ведущих стран по данным 2014 г.

Из этого распределения хорошо видно, что в TOP-500 рейтинга ARWU входило 148 университетов США, которые сильно опережают по количеству университетов Германию (39 университетов) и Великобританию (38 университетов).

Хорошо известно мнение, что рейтинги ARWU, CWTS Leiden и HEЕАСТ переоценивают университеты США, при этом рейтинги THE и QS недооценивают университеты США и переоценивают университеты Великобритании, что подтверждают данные работ [16,18].

H.F. Moed [16] рассчитывает скошенность 17 – ти избранных индикаторов рейтингов ARWU, CWTS Leiden, THE и QS, что редко встретишь в других работах. Им получена ранговая корреляция Спирмана между избранными индикаторами, а также построена интересная цветная диаграмма для зависимости между индикаторами индекса цитирования рейтингов QS и CWTS Leiden для университетов в шести избранных странах. Из нее хорошо видно, что страновые университетские точки по этим индикаторам сильно перемешаны, и не образуют компактных страновых скоплений точек.

Отметим, что взаимная корреляция между 16 – тью индикаторами рейтингов ARWU, THE и QS rankings (для 2016 г.) была проделана в работе [2], в которой значения индикаторов переводились в единичный интервал по известной max-min нормирующей формуле. В самой кросскорреляционной матрице коэффициенты корреляции классифицировались на 5 градаций от очень низкой до очень высокой корреляции также, как и в работе [7]. В работе [2] сделана также попытка качественно оценить степень коррупционной составляющей для каждого изучаемого индикатора, чего мы не встречали в других исследованиях.

Существует ряд работ, в которых рассчитывается корреляция Пирсона между Overall Score (Total Score) и индикаторами различных рейтингов [3, 8, 19, 20].

В работах [3, 20] приведена послыная корреляция Пирсона между Overall Score (Total Score) ведущих рейтингов с их индикаторами. Учитывая большую важность этих работ, приведем сравнительные данные по QS из них (табл. 3, 4).

Таблица 4

Корреляция с Overall Score для четырех слоев рейтинга QS - 2011-2012 [3]

Слой рейтинга	Academic peer review	Employer review	Faculty/Student ratio	Citation per faculty	International faculty	International students
1-100	0,69	0,60	0,57	0,40	0,15	0,37
101-200	0,21	0,12	0,22	0,39	0,06	0,21
201-300	0,44	0,23	0,02	-0,14	-0,04	0,15
301-400	0,07	0,02	0,11	0,18	0,17	0,25

Таблица 5

Корреляция с Overall Score для пяти слоев рейтинга QS - 2009 [20]

Слой рейтинга	Academic peer review	Employer review	Faculty/Student ratio	Citation per faculty	International faculty	International students
1-30	0,452	0,201	0,629	0,627	0,059	0,278
31-70	0,318	0,486	0,224	0,135	-0,006	0,210
71-100	0,214	-0,047	-0,158	0,221	0,051	0,031
90-110	-0,123	0,281	0,206	-0,024	-0,002	0,144
1-100	0,700	0,523	0,505	0,363	0,140	0,341

Как видим из этих таблиц, коэффициенты корреляции близки, при этом университетскому менеджменту следует обращать внимание на максимальные значения этих коэффициентов. Если университет находится в TOP-100-110 рейтинга QS, то следует, в первую очередь, улучшать значения 2, 3 и 6-го индикаторов, согласно таблице 3, с целью вхождения в хвост TOP-100 рейтинга QS.

В работе [20] показано, что большие инвестиции в наем иностранных профессоров, которые обычно делают университеты, мало влияют на их продвижение в рейтинге QS. Об этом также говорят данные таблицы 3.

Мы наблюдаем, что в средних и нижних частях глобальных университетских рейтингов значения Overall Score (Total Score) идут очень плотно, в отличие от верхних частей этих рейтингов. Об этом говорят и интервальные оценки рангов, которые вводятся для одинаковых значений Overall Score (Total Score). Всё это хорошо объясняет ситуацию с низкими значениями коэффициентов корреляции в средних и нижних частях рейтингов (табл. 3, 4). Возможно, с этим связано то, что Overall Score (Total Score) и ранжировки в рейтингах очень чувствительны к вариациям их весов, особенно, в средних и нижних частях университетских рейтингах, что было установлено в работе [21].

Наш обзор литературы показывает, что максимальный охват глобальных университетских рейтингов был проделан в работе [22]. В ней для университетов стран Средиземноморско - Черноморского региона (29 стран) рассматривались 8 рейтингов: Webometrics, THE, QS, ARWU, HEEACT, CWTS Leiden, URAP и SIR. Одна из задач, рассматриваемая в этой статье состояла в следующем: Как страны из TOP-20 рейтинга Webometrics представлены в TOP-500 всех восьми глобальных университетских рейтингов. Показано, что 17 стран из 29 не имели университетов, входящих в TOP-500 хотя бы одного рейтинга. Разработанные в этой статье аналитические процедуры позволяют количественно оценивать конкурентоспособность университетских систем различных стран.

Одновременное рассмотрение множества университетских рейтингов приводит на мысль построения агрегированного рейтинга, который усреднит действия различных методологий их расчетов. Такая задача, в некоторых приближениях, была решена в работах [23, 24].

В работе [24] был использован достаточно сложный подход, использующий, так называемое "Partial least squares path modeling" и апробированный на пересечении множеств университетских названий, входящих в TOP – 100 рейтингов ARWU, THE и QS (2015 г.). В работе [23] использован упрощенный подход на примере рейтингов THE, QS, Leiden, ARWU, Webometrics и URAP (2011 – 2013 гг.). С учетом того, что рейтинг URAP рассчитывался для TOP-2000, все университеты располагались согласно TOP-2000 рейтинга Webometrics. Приведение списков университетов в этих рейтингах к одному размеру проделано согласно работе [11]. Агрегированный рейтинг (Aggregated Global University Rankings, AGUR) выстраивался согласно суммированию по рангам всех рейтингов. Расчеты проводились согласно специально разработанной программы на Python. Очень трудной была задача по распознаванию названий университетов, которые в разных рейтингах были различные, например, University of Harvard, Harvard University, Harvard University [23].

Отметим, что на большую сложность этой задачи указывалось недавно в работе [13].

Анализ кросскорреляционной матрицы показал, что лучшие значения коэффициента корреляции Спирмана наблюдались между рейтингами AGUR и URAP, что можно было предположить и заранее, так как первоначальные списки университетов в рейтингах Webometrics и URAP были одинаковые, а остальные рейтинги имели списки университетов в 3-5 раза меньше [23].

Ещё один пласт работ относится к построению интегральных показателей, оценке весовых коэффициентов индикаторов и чувствительности интегральных показателей к изменению этих коэффициентов. Эти интегральные показатели, как мы знаем, вычисляются с помо-

щью комбинирования в один индекс специально отобранных индикаторов. Это достигается с помощью взвешенной комбинации значений нормализованных (нормированных) индикаторов. Здесь обычно используется линейное аддитивное взвешивание, а иногда интегральный показатель записывается с весами в мультипликативном виде. Процедуры нормировки индикаторов также очень хорошо известны.

Широкая дискуссия по сильным и слабым сторонам интегральных показателей (композитных индикаторов) проводилась в 2002 г. в структурах Еврокомиссии [25] на примере страновых индексов.

При конструировании и расчете таких показателей возникает три вида неопределенностей [26]:

1. различные методы нормирования значений индикаторов;
2. различные подходы к взвешиванию индикаторов;
3. неопределенность в весах индикаторов.

В этой работе предложено рассматривать два комбинированных инструмента: анализ неопределенностей (*uncertainty analysis, UA*) и анализ чувствительности (*sensitivity analysis, SA*). Первый анализ фокусируется на том, как неопределенность во входных факторах распространяется на структуру интегрального показателя и воздействует на его значения, второй – изучает изменчивость (вариацию) этого показателя при малых возмущениях значений индикаторов. Для анализа неопределенностей (*UA*) описан Монте Карло подход, основанный на выполнении множественных оценок модели с k случайно отобранными входными факторами. В анализе чувствительности (*SA*) для k независимых входных факторов вычисляются индексы чувствительности с использованием формулы декомпозиции для вариации общего выхода. Здесь также использовался метод Монте Карло. Рассматриваемые аналитические техники являются довольно сложными, но для них имеется открытое программное обеспечение SIMLAB [27].

Вышеуказанные процедуры *UA* и *SA* апробированы на примере *Technology Achievement Index (TAI)*, разработанном экспертами ООН [28]. Но, очевидно, что они справедливы и для университетских рейтингов.

Как известно, наибольшие трудности возникают в установлении весов индикаторов. Для их назначения используются обычно два подхода: размещение бюджета (*budget allocation, BA*) и процесс анализа иерархий (*Analytical Hierarchy Processes, ANPs*). Последняя процедура хорошо известна в отечественной научной литературе, как метод анализа иерархий (*МАИ*), предложенный впервые Т. Саати [29, 30]. Этот метод основан на процедуре попарных сравнений, позволяющей находить весовые коэффициенты.

В работе [31] эти трудности были обобщены, и был сделан вывод о том, что многие

опубликованные процедуры взвешивания основаны на слишком сложных мультивариативных методах или имеют слишком малое значение для общества. По этой причине, два вышеуказанных подхода были признаны наиболее предпочтительными с социальной точки зрения. В методе *BA* экспертов приглашают распределить бюджет в условных единицах (например, в баллах) по всем индикаторам, «платя» больше тем индикаторам, чью важность они хотят подчеркнуть [32]. В методе *АНП* широко используется аналитическая техника мультиатрибутивного (мультивариативного) принятия решений (*multiattribute decision-making*) [30]. Этот метод, как мы отмечали ранее, основан на процедуре попарных сравнений индикаторов, при этом важность индикаторов оценивается по 9-ти балльной шкале (если для какого-то индикатора выбрана оценка 9, то он является в 9 раз важнее сравниваемого индикатора). Относительные веса индикаторов вычисляются с помощью матричной техники собственных векторов.

Рейтинговые агентства, ранжирующие университеты, не раскрывают аналитическую технику назначения весов, но очевидно, что она основывается на выше указанных двух подходах.

В работе [33] предложен подход для улучшения весов индикаторов при оценке научной и технологической конкурентоспособности китайских университетов. Для определения весов использовались субъективные и объективные подходы [34, 35]. К субъективному подходу отнесены процедуры экспертных оценок важности каждого индикатора, такие как метод собственных векторов [29], метод Дельфи [36] и другие, а к объективному – процедура анализа данных, собранных по изучаемым индикаторам с целью определения весов, которые наилучшим способом объясняют эти данные. Сюда авторы отнесли метод коэффициента вариации [37], энтропийный метод [38] и другие.

Основная идея работы [33] состояла в объединении субъективных и объективных весов в одной формуле (интегральные веса, *integrative weights*). В ней для китайских университетов построена иерархическая система индикаторов. Сам интегральный показатель записывался в виде аддитивной и мультипликативной взвешенной функций. Веса варьировались таким образом, чтобы получить лучшее схождение расчётных и эмпирических данных по интегральному показателю (метод наименьших квадратов и другие оптимизационные техники).

После вычисления весов различными методами, были сделаны расчеты суммы абсолютных различий рангов между ранжировками различных типов университетов (8 типов) в 2005 и 2009 г. для четырех методов вычисления весов (*АНП (МАИ), additive integration, additive integration two, multiplicative integration*). Лучшие результаты показала мультипликативная интеграция (минимальная сумма абсолютных различий ран-

гов между различными ранжировками университетов) [33].

В развитие работы [26] в работе [39] развит другой стохастический подход для оценки чувствительности интегрального показателя (композитного индикатора) к малым случайным изменениям весовых коэффициентов индикаторов. Этот подход апробирован на основе 2008 Excellence Initiatives для университетов Франции и Германии. Здесь использованы две системы из четырех индикаторов для ранжирования академического профиля (Academic Profile) и устойчивости (Sustainability) университетов. Нормировка их проделана на основе деления на максимальные по выборкам значения в случае, если индикаторы являлись стимуляторами, или минимальное по выборке значение делилось на само значение индикатора, если он являлся дестимулятором. В обоих случаях, эти нормированные значения индикаторов умножались на 100. Отметим, что в этой работе термины стимулятор и дестимулятор не использовались.

Интегральный показатель для произвольного i -го университета вычисляется стандартным аддитивным способом по формуле линейного взвешивания

$$CI_i = \sum_{j=1}^p I_{ij} w_j, \quad \sum_{j=1}^p w_j = 1.$$

Начальный вектор весов брался в виде $w_{(0)} = (Y_p, \dots, Y_p)$. Малые возмущения S брались в интервале от $0,1w_j$ до $0,3w_j$.

При каждом S методом Монте Карло генерировалось $m=100$ однородных значений $w^{(i)}$ на интервале $[(1/p)-S, (1/p)+S]$. Для каждого вектора весов вычислялись значения интегрального показателя CI_i и университеты ранжировались в соответствии со значениями этого интегрального показателя.

Приведены результаты расчетов по случайному имитационному моделированию французских и немецких университетов для двух систем индикаторов (Academic Profile и Sustainability) при $S=0,2x(1/p)$. При таком моделировании для первоначально одинаковых весов получены медианные ранги, а также ранги, соответствующие 5 и 95% квантилям распределений m ранжирований. Показано, что полученные ранжирования незначительно отличались от первоначальных.

Проделаны также расчеты при введении objective weights, additive integration и additive integration two согласно, рассмотренной ранее работы [33]. Описаны особенности ранжирования университетов при таком стохастическом моделировании. В приложении к работе [39] приведены два алгоритма для моделирования по методу Монте Карло.

Следует отметить, что в трудах российских исследователей в последнее время, помимо рассмотренных методов многомерного статистического анализа глобальных университетских рейтингов, использовались методы нейросетевого моделирования и самоорганизующихся карт

Кохонена, а также методы кластерного анализа [40-43].

Проделанный обзор литературы позволил нам поставить ряд новых исследовательских вопросов по расширению наших знаний в многомерном статистическом анализе глобальных университетских рейтингов, и следующего из него эффектов стабильности или нестабильности университетских ранжировок, их чувствительности к изменению весовых коэффициентов индикаторов и эффектов в послойных корреляциях. Ниже будет рассмотрен последний исследовательский вопрос.

Моделирование послойных корреляций в глобальных университетских рейтингах между их индикаторами и интегральными показателями

При ранжировании университетов плотность распределения значений их интегральных показателей (Overall (Total) Score) является не равномерной, в средних и нижних частях рейтингов она бывает настолько плотной, что рейтинговые агентства используют интервальные оценки, так как большая группа университетов с этими оценками имеет приблизительно одинаковые значения Overall (Total) Score. В этой связи мы поставили перед собой задачу проведения послойных корреляций между индикаторами рейтинга и их интегральными показателями.

Графическое представление таких расчетов с показом маршрутов перехода значений индикаторов и интегральных показателей от одного университета к другому позволяет изучать плотности распределения этих значений в различных слоях рейтингов. Но самое главное, такие расчеты позволяют в этих слоях определять наиболее важные индикаторы с наибольшими значениями коэффициентов корреляции, ориентируясь на которые университетские менеджеры могут решать задачи по улучшению позиционирования их университетов в глобальных университетских рейтингах.

Нами проделаны такие корреляции в TOP – 100 ARWU с тремя слоями, в TOP- 200 THE с семью слоями и в TOP – 210 QS с семью слоями за три года (2018 – 2020 гг.). Для ARWU, помимо слоя 1 – 30, для которого корреляции между индикаторами и Total Score были приблизительно одинаковы, наиболее чувствительными индикаторами в отношении Total Score в практически во всех трёх вариантах расчёта для слоя 31 – 60 оказались индикаторы HiCi (во всех трёх случаях) и N&S (в двух первых случаях для 2018 и 2019 гг), коэффициент корреляции Пирсона которых изменялся от 0,36 до 0,4. Все остальные значения этого коэффициента для 6 индикаторов в слоях 31 – 60, 61 - 90 были ниже 0,27, а в некоторых случаях и отрицательными.

Для рейтинга ARWU с тремя слоями приведём корреляционную таблицу для 2020 года (табл. 6).

Коэффициенты корреляции между индикаторами и Total Score по слоям рейтинга ARWU, 2020 г.

Слой рейтинга	Score on Alumni	Score on Awards	Score on HiCi	Score on N&S	Score on PUB	Score on PCP
ARWU 1-30	0,885004	0,850957	0,778366	0,909123	0,232836	0,736624
ARWU 31-60	0,192455	0,268184	0,36525	0,17031	0,183714	-0,08086
ARWU 61-90	-0,30028	0,242349	0,144557	-0,0082	0,255336	-0,07042
ARWU 1-100	0,807595	0,842773	0,80484	0,921153	0,437725	0,701487

На рисунке 1 показано регрессионное уравнение для индикатора HiCi ($R = 0,36525$), где точками и линиями показаны позиции университетов в рейтинге ARWU (значения индикатора и Total Score) и переходы к ближайшим соседним университетам, которые идут на один ранг выше. Этот индикатор является наиболее перспективным при принятии управленческих решений по повышению рейтинга университета для рассматриваемого второго слоя рейтинга ARWU.

На графике видны две зоны сгущения точек в отношении Overall Score. По этим точкам

можно легко восстановить названия всех университетов в количестве 30. Например, пятая точка сверху соответствует University of Melbourne, который занимал 35 место в рейтинге ARWU в 2020 году с показателем Total Score = 36. Если этому университету удастся в течение нескольких лет повысить значение индикатора HiCi с 40,8 до 44,3, то имеется большая вероятность переместиться на 31 место, где сейчас находится University of North Carolina at Chapel Hill.

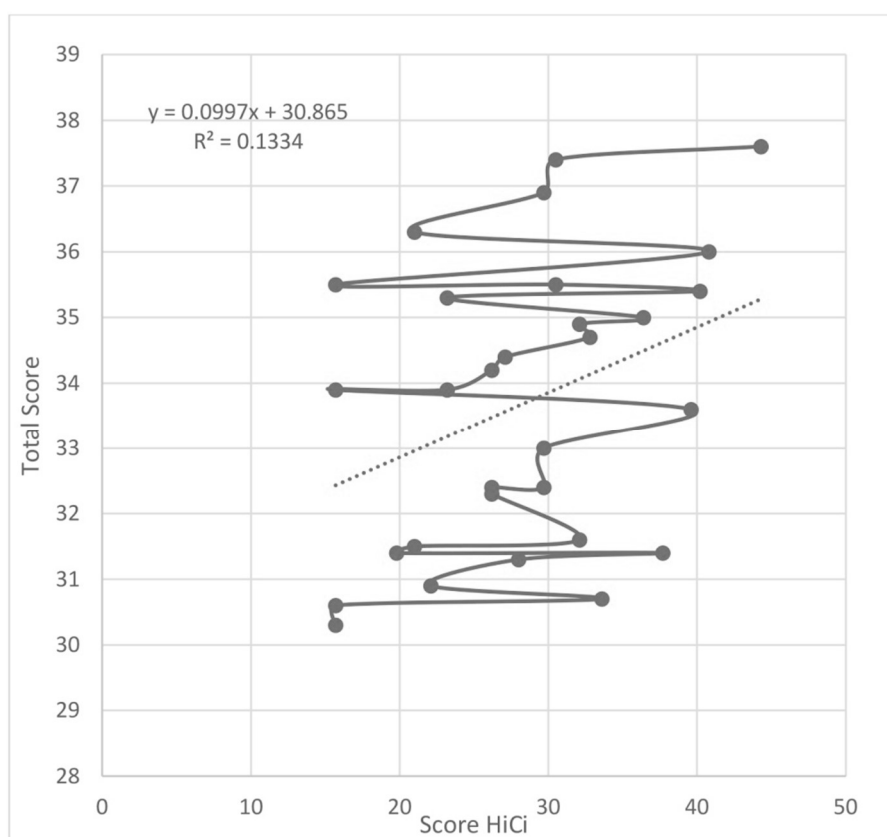


Рис. 1. Регрессионная связь между Score on HiCi и Total Score для слоя 31 – 60 рейтинга ARWU 2020 г.

На рисунке 2 показано регрессионное уравнение для индикатора N&S ($R = 0,921153$) для всего слоя TOP - 100. На нём очень хорошо

видны две зоны – плотная и разрежённая с границей Total Score = 45.

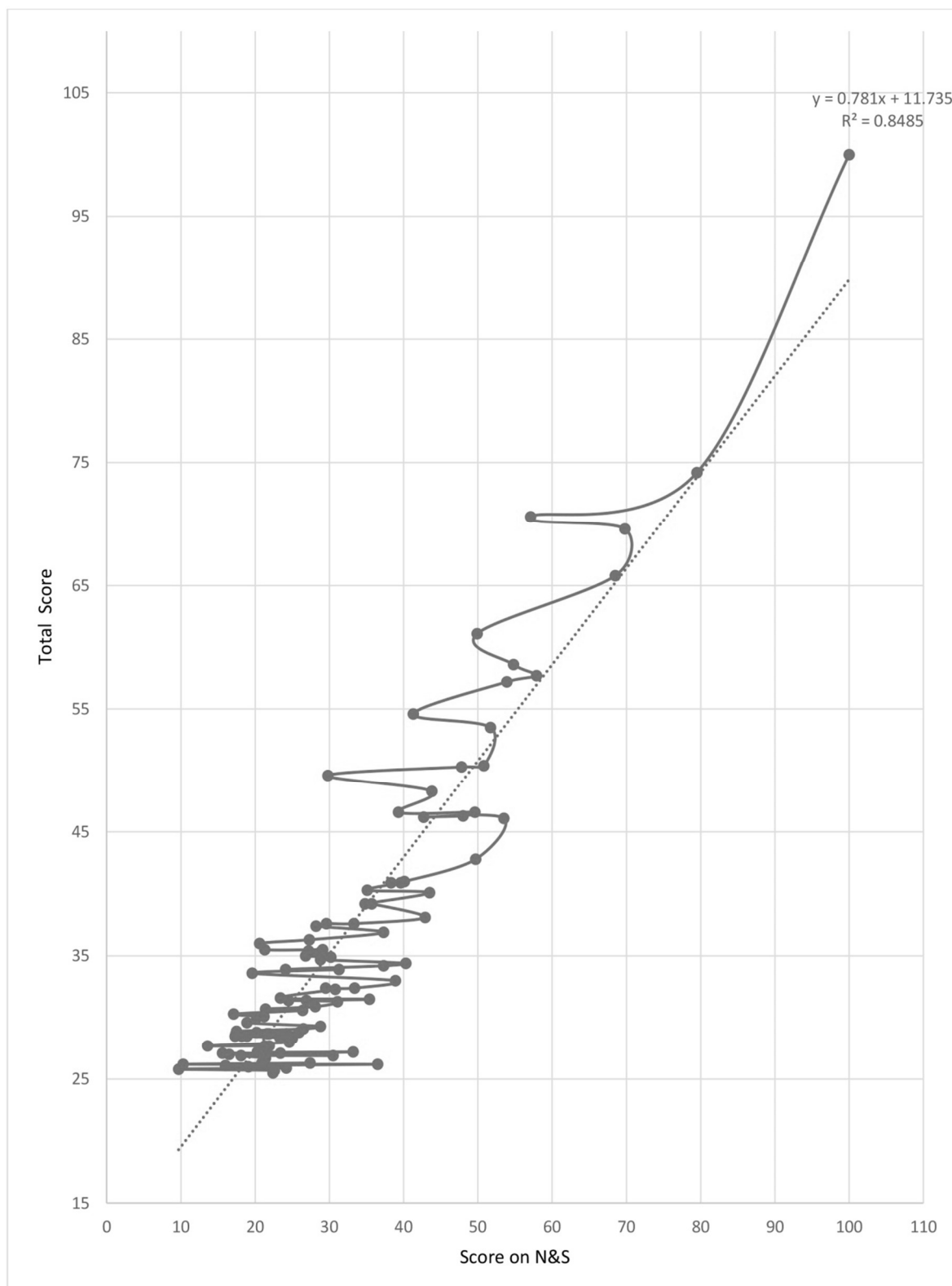


Рис. 2. Регрессионная связь между Score on N&S и Total Score для TOP - 100 рейтинга ARWU 2020 г.

Для рейтинга THE с семью небольшими слоями приведем корреляционную таблицу для 2020 года (табл. 7), из которой видно, что в 1 – 3

и 5 слоях можно насчитать 6 достаточно высоких значений коэффициента корреляции ($R > 0,43$).

Коэффициенты корреляции между индикаторами и Overall Score по слоям рейтинга THE, 2020 г.

Слой рейтинга	Score on Teaching	Score on Research	Score on Citations	Score on Industry Income	Score on International Outlook
THE 1-30	0,826418	0,812862	0,42888	0,220187	0,311279458
THE 31-60	0,52864	0,729543	-0,11658	0,253549	0,075105007
THE 61-90	0,224387	0,489563	0,009208	-0,06913	-0,02971853
THE 91-120	0,189157	0,195004	-0,0193	0,170616	-0,051060205
THE 121-150	0,195912	0,454236	-0,11601	-0,25404	0,015239169
THE 151-180	0,319006	0,279049	-0,21152	0,141398	-0,008881019
THE 181-200	0,067282	0,208325	-0,07701	0,246971	-0,016779239
THE 1-100	0,901465	0,923397	0,466281	-0,02374	0,203370169
THE 1-200	0,886084	0,922161	0,417313	0,076996	0,167241474

На рисунке 3 показаны переходы значений индикатора Score on Research и Overall Score рассматриваемого рейтинга от одного университета к другому (последовательно от университета с рангом 90 через все промежуточные ранги к рангу 61). Отчётливо видно сгущение точек в нижней части ломанной прямой.

Важно отметить, что если значения интегральных показателей университетов находятся в областях их сгущения, то небольшие флуктуации значений индикаторов рейтинга будут сильно влиять на значения их интегральных показателей.

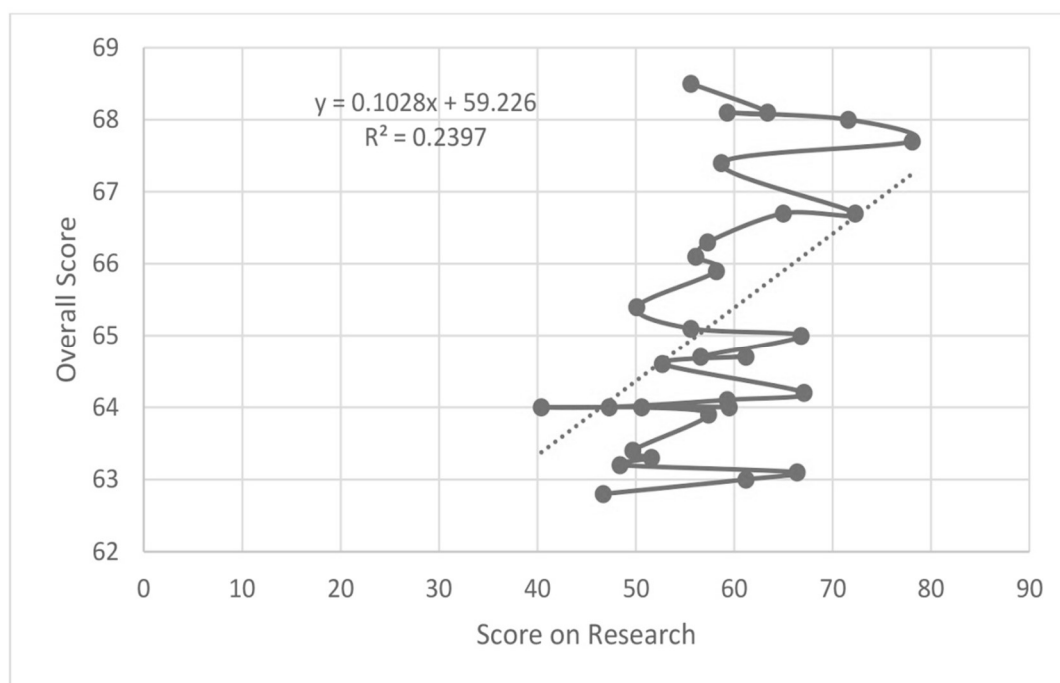


Рис. 3. Регрессионная связь между Score on Research и Overall Score в слое 61 – 90 рейтинга THE 2020.

Для рейтинга QS с семью небольшими слоями приведем корреляционную таблицу для 2020 года (табл. 8), из которой видно, что в 1 – 3

и 5 слоях можно насчитать 5 достаточно высоких значений коэффициента корреляции ($R > 0,44$).

Коэффициенты корреляции между индикаторами и Overall Score по слоям рейтинга QS, 2020 г.

Слой рейтинга	Score on Citations Per Faculty	Score on International Students	Score on International Faculty	Score on Faculty Student	Score on Employer Reputation	Score on Academic Reputation
QS 1-30	0,549243	0,25619	0,374517	0,519161	0,338832	0,283973345
QS 31-60	0,100188	-0,10927	-0,15379	-0,07029	0,205877	0,655349171
QS 61-90	-0,0156	0,014353	0,108841	-0,26229	0,448086	0,573746064
QS 91-120	0,165752	0,325177	0,10419	0,115495	0,49953	-0,100473824
QS 121-150	0,397182	-0,09714	0,041069	0,015795	-0,31621	0,103029711
QS 151-180	-0,08276	-0,01246	0,159175	0,145103	-0,11047	0,069836211
QS 181-210	0,232955	0,173011	0,105447	-0,37381	0,172797	0,20229575
QS 1-100	0,390429	0,261809	0,28908	0,413117	0,641985	0,771217778
QS 1-210	0,460444	0,382915	0,306212	0,384287	0,701497	0,837524

На рисунке 4 показано регрессионное уравнение для индикатора Score on Academic Reputation ($R = 0,655349171$), где точками и линиями показаны позиции университетов в рейтинге QS (значения индикатора и Overall Score) и переходы к ближайшим соседним университетам, которые идут на один ранг выше. Этот индикатор является наиболее перспективным при

принятии управленческих решений по повышению рейтинга университета для рассматриваемого второго слоя рейтинга QS. Как и на предыдущих графиках хорошо видна неоднородность межранговых колебаний в отношении их частоты и амплитуды. В таблицах 7 и 8 под небольшими слоями рейтингов понимаются слои с 30 рангами, в редких случаях с 20.

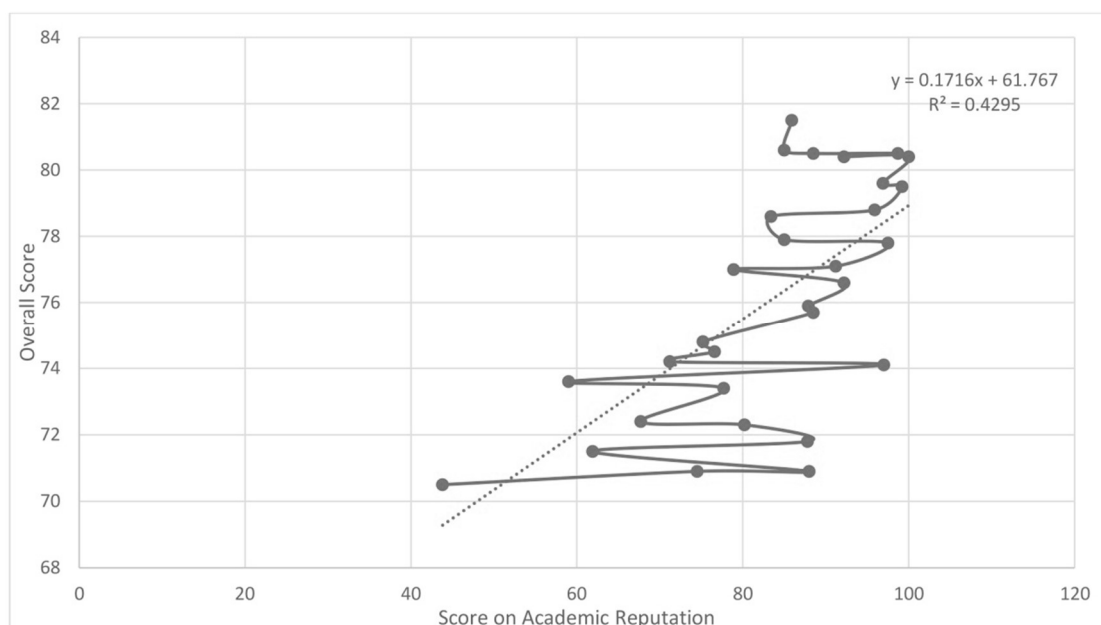


Рис. 4. Регрессионная связь между Score on Academic Reputation и Overall Score в слое 31 – 60 рейтинга QS 2020.

Рисунки 1 – 4 позволили увидеть не известный ранее эффект, состоящий в том, что если Overall (Total) Score является монотонно возрастающей функцией от рангов университетов, то индикаторы Score on HiCI (рис.1, 2), Score

on Research (рис. 3), Score on Academic Reputation (рис. 4) и другие являются осциллирующими функциями на оси рангов.

Заключение

Отмечена большая послонная неоднородность рейтингов, в которых корреляция между значениями их индикаторов и интегральными показателями убывает от верхних слоёв к нижним. Показано, что послонный выбор наиболее коррелируемых пар индикаторов и интегральных показателей позволяет решать управленческие задачи по более осмысленному продвижению университетов в глобальных университетских рейтингах.

В средних и нижних частях рейтингов значения интегральных показателей или их балльные оценки, изменяющиеся в целом от 0 до 100, идут очень плотно, что и обуславливает нестабильность в этих зонах. В тоже время верхние зоны, в которых расположены ведущие университеты, характеризуются разреженностью, когда университеты идут с относительно большим зазором в отношении их балльных оценок. Преодолевать эти зазоры или барьеры очень сложно, что и обуславливает, как отмечено выше, стабильность в верхних зонах глобальных университетских рейтингов. Эта ситуация аналогична той, которая наблюдается в беге на длинную дистанцию, в автомобильных, мотоциклетных и велосипедных гонках. Выдающихся бегунов, авто, мото и велогонщиков не так много и их потенциальные возможности сильно разнятся друг от друга. Здесь имеется полная аналогия с репутационной университетской гонкой.

Из-за неоднородности ранговых слоёв в этой гонке, по разному откликаются значения интегральных показателей на изменения значений их частных индикаторов, было показано, что послонные корреляции между ними ухудшаются по мере увеличения рангов, то есть от верхних слоёв к нижним. При этом сами послонные корреляции сильно изменяются в зависимости от самих индикаторов. Это обстоятельство делает очень перспективным процесс управления позиционированием университетов в глобальных университетских рейтингах.

Действительно, определив, в каком межранговом слое находится университет (интервал изменения рангов можно брать на уровне 30 – 40 с целью получения достоверных корреляционных зависимостей), и проведя в этом слое корреляционный анализ между значениями частных индикаторов и значениями интегрального показателя рейтинга (балльные оценки или Overall (Total) Score), мы определим наиболее чувствительные частные индикаторы, имеющие наибольшие значения коэффициента корреляции с Overall (Total) Score. После этого университетский менеджмент в рамках своей программы повышения глобальной конкурентоспособности университета должен просто воздействовать на эти индикаторы с целью повышения их значений.

Библиографический список:

1. Московкин В. М., Чжан Хэ. Влияние репутации университетов на стоимость обучения иностранных студентов и вклад иностранных студенческих инвестиций в экономику стран // Оригинальные Исследования. – 2021. – Том 11, № 4. – С. 37-96. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2021-oris-4-2021/a230255>
2. Mussard M., James A. P. Engineering the global university rankings: gold standards, limitations and implications

//IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – P. 6765-6776. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2789326>

3. Soh K. C. Simpson's Paradox and confounding factors in university rankings: a demonstration using QS 2011–12 data // European Journal of Higher Education. – 2012. – Vol. 2, № 4. – P. 389-402. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/21568235.2012.743223>

4. Soh, K.C. Misleading university rankings: cause and cure for discrepancies between nominal and attained weights // Journal of Higher Education Policy and Management. – 2013a. – Vol. 35, № 2. – P. 206-214. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/1360080X.2013.775929>

5. Soh, K.C. Rectifying on honest error in world university rankings: a solution to the problem of indicator weight discrepancies // Journal of Higher Education Policy and Management. – 2013b. – Vol. 35, № 6. – P. 574-585. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/1360080X.2013.844670>

6. Shehata I., Mahmood K. Correlation among top 100 universities in the major six global rankings: policy implications // Scientometrics. – 2016. – Vol. 109, № 2. – P. 1231-1254. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2065-4>

7. Aguillo, I.F., Bar-Ilan, J., Levene, M., Ortega, J.L. Comparing university rankings // Scientometrics. – 2010. – Vol 85, № 1. – P. 243-256. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0190-z>

8. Chen K., Liao P. A comparative study on world university rankings: a bibliometric survey // Scientometrics. – 2012. – Vol. 92, № 1. – P. 89-103. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0724-7>

9. Huang M. H. A comparison of three major academic rankings for world universities: From a research evaluation perspective // Journal of Library & Information Studies. – 2011. – Vol. 9, № 1. – P.1-25. <https://docplayer.net/6776547-A-comparison-of-three-major-academic-rankings-for-world-universities-from-a-research-evaluation-perspective.html>

10. Fagin, R., Kumar, R., Sivakumar, D. Comparing top k lists. SIAM // Journal on Discrete Mathematics. – 2003. – Vol. 17, № 1. – P. 134-160. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1137/S0895480102412856>

11. Bar-Ilan, J., Levene, M., Lin, A. Some measures for comparing citation databases // Journal of Informatics. – 2007. – Vol. 1, № 1. – P. 26-34. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2006.08.001>

12. Bar-Ilan, J., Mat-Hassan, M., Levene, M. Methods for comparing of search engine results // Computer Network. – 2006. – Vol. 50, № 10. – P. 1448-1463. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2005.10.020>

13. Seltin, F., Neylon, C., Huang, C.-K., Groth, P. A longitudinal analysis of university rankings // The MIT Press Journals. Quantitative Science Studies. – 2020. – Vol. 1, № 3. – P. 1109-1135. [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://doi.org/10.1162/qss_a_00052

14. Khosrowjerdi, M., Seif Kashani, Z. Asian top universities in six world university ranking systems // Webology. – 2013. – Vol. 10, № 2. – P. 1-9. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.webology.org/2013/v10n2/a114.pdf>

15. Olcay G. A., Bulu M. Is measuring the knowledge creation of universities possible?: A review of university rankings // Technological Forecasting and Social Change. – 2017. – Vol. 123. – P. 153-160. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.029>

16. Moed H. F. A critical comparative analysis of five world university rankings // Scientometrics. – 2017. – Vol. 110, № 2. – P. 967-990. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2212-y>

17. Pavel A. P. Global university rankings-a comparative analysis // Procedia economics and finance. – 2015. – Vol. 26. – P. 54-63. [Электронный ресурс]: Режим доступа: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00838-2](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00838-2)

18. Vidal, P., Filliatrean, G. Graphical comparison of World University Rankings // Higher Education Evaluation and Development. – 2014. – Vol. 8, № 1. – P. 1-14. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10.6197/HEED.2014.0801.01>

19. Hou, Y.O., Morse, R., Jiang, Z.L. Analyzing the movement of ranking order in world universities' rankings: How to understand and use universities rankings effectively to draw up a universities' development strategy // Evaluation Bimonthly. – 2011. – Vol. 30. – P. 43-49.

