

УДК:330.42

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УНИВЕРСИТЕТСКИХ РЕЙТИНГОВ К ИЗМЕНЕНИЮ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИХ ЧАСТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Московкин Владимир Михайлович

доктор географических наук
директор Центра развития публикационной активности
профессор кафедры мировой экономики
Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Российская Федерация, 308015, ул. Победы 85
moskovkin@bsu.edu.ru
ORCID:0000-0001-5587-4133
SPIN-код: 2719-8360

Чжан Хэ

аспирант кафедры прикладной экономики и экономической безопасности
Белгородский государственный национальный исследовательский университет Белгород,
Российская Федерация, 308015, ул. Победы 85
2695694838@qq.com
ORCID:0000-0001-8654-0697

Аннотация

Сделан обзор зарубежных исследований по расчету композитных индикаторов на основе линейного взвешивания субиндикаторов. Рассмотрены возникающие здесь неопределенности, связанные с методами нормирования и взвешивания субиндикаторов, а также с их весами. В рамках этих работ рассмотрены стохастические подходы для оценки чувствительности композитного индикатора к малым случайным изменениям весов субиндикаторов. Прделаны простые имитационные расчеты для TOP-100 университетских рейтингов ARWU, THE и QS, которые показали, что максимальные и средние значения скачков рангов увеличивались с ухудшением рейтингов университетов. Для каждого рейтинга рассматривались по 10 вариантов различного набора весов. Построены кросскорреляционные матрицы для Total Score и Overall Score рассматриваемых рейтингов для этих вариантов. Во всех случаях значения коэффициентов корреляции Пирсона были высокие, не менее 0,83.

Ключевые слова: композитные индикаторы, чувствительность индикаторов, субиндикаторы, университетские рейтинги, линейное взвешивание, весовые коэффициенты, ARWU, THE, QS, Total Score, Overall Score, кросскорреляционная матрица.

SENSITIVITY ANALYSIS OF UNIVERSITY RATINGS TO CHANGES IN THE WEIGHT COEFFICIENTS OF THEIR PARTIAL INDICATORS

Vladimir M. Moskovkin

Doctor of Geographical Sciences,
Director of the Center for the Development of Publication Activity
Professor of the Department of World Economy
Belgorod State National Research University
Belgorod, the Russian Federation, 308015, Pobeda St., 85
moskovkin@bsu.edu.ru
ORCID: 0000-0001-5587-4133
SPIN Code: 2719-8360

Zhang He

PhD student of the Department of Applied Economics and Economic Security
Belgorod State National Research University
Belgorod, Russian Federation, 308015, Pobeda St., 85
2695694838@qq.com
ORCID: 0000-0001-8654-0697

ABSTRACT

A review of foreign studies on the calculation of composite indicators based on linear weighting of sub-indicators is made. The uncertainties arising here related to the normalization and weighing methods of sub-indicators, as well as their weights, are considered. In the framework of these works, stochastic approaches to assess the sensitivity of the composite indicator to small random changes in the weights of sub-indicators are considered. Simple simulation calculations were performed for the TOP-100 university ratings of ARWU, THE and QS, which showed that the maximum and average values of rank jumps increased with the decline of university ratings. For each rating, 10 variants for a different set of weights were considered. Cross-correlation matrices were constructed for the Total Score and Overall Score of the considered ratings for these variants. In all cases, the values of the Pearson correlation coefficients were high, at least 0.83.

Keywords: composite indicators, indicator sensitivity, sub-indicators, university ratings, linear weighting, weighting coefficients, ARWU, THE, QS, Total Score, Overall Score, cross-correlation matrix.

Введение

Композитные индикаторы (composite indicators) или интегральные показатели (integral indicators) очень широко используются международными и национальными агентствами для оценки состояния и ранжирования самых разнообразных экономических, социальных и других объектов, включая страны, территории и институты.

Эти индикаторы вычисляются с помощью комбинирования в один индекс специально отобранных субиндикаторов. Это достигается с помощью взвешенной комбинации значений нормализованных (нормированных) субиндикаторов. Здесь обычно используется линейное взвешивание.

Широкая дискуссия по сильным и слабым сторонам композитных индикаторов проводилась в 2002 г. в структурах Еврокомиссии (Saisana, Tarantola, 2002).

При конструировании и расчете таких индикаторов возникает три вида неопределенностей (Saisana, Saltelli, Tarantola, 2005):

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

В предыдущей 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 композитного индикатора и воздействует на его значения, второй – изучает изменчивость (вариацию) композитного индикатора при малых возмущениях значений субиндикаторов.

В литературе отмечается, что построение композитных индикаторов UA используется гораздо чаще, чем SA (Jamison, Sandbu, 2001; Frendenberg, 2003), и оба типа анализа почти всегда используются отдельно друг от друга. Совместное использование UA и SA предлагается в описываемой нами работе (Saisana, Saltelli, Tarantola, 2005). В ней используются два метода нормирования данных и два подхода для назначения весов субиндикаторов (размещения бюджета (budget allocation, BA) и процесс анализа иерархий (analytical hierarchy processes, AHPs). Последняя процедура хорошо известна в отечественной научной литературе, как метод анализа иерархий (МАИ), предложенный впервые Т. Саати (Saaty, 1980). Этот метод основан на процедуре попарных сравнений, позволяющей находить весовые коэффициенты.

Методологические аспекты в построении композитных индикаторов рассматриваются в работе (Saisana, Saltelli, Tarantola, 2005) на примере страновых композитных индикаторов.

Обычно композитный индикатор Y_c для данной страны c представляется в виде простой линейной взвешенной функции от Q нормированных субиндикаторов $I_{q,c}$ с весами w_q

$$Y_c = \sum_{q=1}^Q I_{q,c} w_q \quad (1)$$

При этом использовались, как отмечалось выше, два метода нормирования данных (субиндикаторов)

$$I_{q,c} = \frac{x_{q,c} - \min(x_q)}{\max(x_q) - \min(x_q)} \quad (2)$$

$$I_{q,c} = \frac{x_{q,c} - \text{mean}(x_q)}{\text{std}(x_q)}, \quad (3)$$

где $x_{q,c}$ – значение субиндикатора x_q для страны c , $\text{mean}(x_q)$ – медиальное значение x_q , $\text{std}(x_q)$ – стандартное отклонение x_q .

Для UA-SA важными являются два показателя:

1. Изменение в значениях композитного индикатора для двух стран А и В.

$$D_{AB} = \sum_{q=1}^Q (I_{q,A} - I_{q,B}) w_q \quad (4)$$

2. Среднее смещение в страновых рангах, вычисляемое как среднее из абсолютных изменений страновых рангов в сравнении с эталонным ранжированием M стран

$$\bar{R}_s = \frac{1}{M} \sum_{c=1}^M |\text{Rank}_{res}(Y_c) - \text{Rank}(Y_c)| \quad (5)$$

В работе (Saisana, Saltelli, Tarantola, 2005) исследование, в рамках UA и SA, показателей Y_G , $D_{A,B}$ и \bar{R}_s было направлено на оценку качества конструирования композитных индикаторов.

Неопределенность в конструировании композитного индикатора связана со следующими шагами в этом конструировании: 1. выбор субиндикаторов; 2. отбор данных; 3. редактирование данных; 4. нормирование данных; 5. процедура взвешивания; 6. определение значений весов; 7. формула композитного индикатора.

Наибольшие трудности возникают в установлении весов. В работе (Cox et al, 1992) были обобщены эти трудности 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, вышеуказанные подходы, такие как ВА и АНPs, являются наиболее предпочтительными с социальной точки зрения. В метода ВА экспертов приглашают распределить бюджет в условных единицах (например, в баллах) по всем субиндикаторам, «платя» больше тем индикаторам, чью важность они хотят подчеркнуть (Moldan et al., 1997). В методе АНP широко используется аналитическая техника мультиатрибутивного (мультивариативного) принятия решений (multiattribute decision-making) (Saaty, 1980). Этот метод, как мы отмечали ранее, основан на процедуре попарных сравнений субиндикаторов, при этом важность субиндикаторов оценивается по 9-ти балльной шкале (если для какого-то субиндикатора выбрана оценка 9, то он является в 9 раз важнее сравниваемого субиндикатора). Относительные веса индикаторов вычисляются с помощью матричной техники собственных векторов.

В рассматриваемой работе, ее авторы фокусируют внимание на пунктах 4-6 построения композитного индикатора, которые могут вносить неопределенности в выходные показатели Y_G , $D_{A,B}$ и \bar{R}_s . Речь идет о двух методах нормирования (формулы (2, 3)), двух взвешивающих процедурах (ВА и АНP) и весах субиндикаторов. Все эти неопределенности переводятся в множество скалярных входных факторов с целью построения вероятностных распределений. В результате, все выходные факторы (показатели) Y_G , $D_{A,B}$ и \bar{R}_s являются нелинейными функциями от неопределенных входных факторов (субиндикаторов) и оценка функций распределения вероятности PDF является целью UA. UA процедура существенно основана на имитационном моделировании.

Далее, в работе (Saisana, Saltelli, Tarantola, 2005) описан Монте Карло подход, основанный на выполнении множественных оценок модели с k случайно отобранными входными факторами. Предложена шестишаговая процедура для генерирования N -мерного выходного вектора Y , в качестве координат которого служат показатели Y_G , $D_{A,B}$ и \bar{R}_s . Генерирования этих выборок может быть основано на простой случайной выборке, стратифицированной выборке, квази-случайной выборке или других выборках (Saltelli, Chan, Scott, 2000). Последовательность Y (выходной вектор) позволяет строить эмпирические PDF для выходных показателей. Характеристики PDF, такие как вариация и моменты высшего порядка, могут быть оценены с произвольной точностью, которая связана с размерностью N выходного вектора Y .

В SA процедуре для k независимых входных факторов вычисляются индексы чувствительности с использованием формулы декомпозиции для вариации общего выхода $V(Y)$. Рассматриваемая аналитическая техника, как и для UA процедуры, является довольно сложной, но для нее имеется открытое программное обеспечение SIMLAB (Saltelli et al., 2004).

Процедуры UA и SA апробированы на примере Technology Achievement Index (TAI), разработанном экспертами ООН (United Nations, 2001).

Полагаем, что данные процедуры будут полезны в анализе неопределенности и анализе чувствительности для всех глобальных университетских рейтингов.

Ввиду того, что в этих процедурах ключевую роль играют схемы взвешивания и назначения весов, рассмотрим работу (Ding, Qin, 2011), в которой предложен подход для улучшения весов индикатора при оценке научной и технологической конкурентоспособности китайских университетов.

Для определения весов выделяются субъективные и объективные подходы (Ma et al., 1999; Zeleny, 1982). К субъективному подходу относят процедуры экспертных оценок важности каждого индикатора, такие как метод собственных векторов (Saaty, 1977), метод Дельфи (Hwang, Lin, 1987) и другие. Объективный подход состоит в анализе данных собранных по изучаемым индикаторам с целью определения весов, которые наилучшим способом объясняют эти данные. Сюда можно отнести метод коэффициента вариации (Mao, 2002), энтропийный метод (Hwang, Yoon, 1981) и другие.

В работе (Kao, Pao, 2009) различаются веса, полученные до сбора данных (*priori weights*) и веса, вычисленные после сбора данных (*posteriori weights*). Например, в методе анализа иерархий (Saaty, 1980, 1990) мы имеем дело с *priori weights*, а в методе коэффициента вариаций – с *posteriori weights*.

Основная идея работы (Ding, Qin, 2011) состоит в объединении субъективных и объективных весов в одной формуле (интегральные веса, *integrative weights*). В ней для китайских университетов построена иерархическая система индикаторов, веса которых получены на основе процедуры АНР (Saaty, 1980, 1990) (табл. 1).

Table 1.
The indicator system

Primary indicator	Secondary indicator	Symbol	Weights
Scientific and technological production	SCI Papers	S11	0.0385
	EI Papers	S12	0.0288
	CSTPC Papers	S13	0.0086
Scientific and technological influence	Science/Nature Papers	S21	0.0947
	ESI Highly Cited Papers	S22	0.0766
	Discipline SCI Citations	S23	0.0428
	Discipline CSTPC Citations	S24	0.0092
Scientific and technological conversion	Patents	S31	0.1589
	Patent Applications	S32	0.0795
	Transfer Income	S33	0.0397
Scientific and technological innovation	National Natural Science Award	S41	0.2386
	National Invention Award/National Science and Technology Progress Award	S42	0.1443
	National 100 Excellent Ph.D. Dissertation Award	S43	0.0397

Отметим, что большинство индикаторов публикационной активности и цитируемости в таблице 1 входят в перечень индикаторов Шанхайского университетского рейтинга (ARWU).

Многошаговая процедура по интеграции субъективных и объективных индикаторов состояла в следующем (Ding, Qin, 2011):

1. Выборка. Построена выборка из 603 государственных китайских университетов, оцененных за пятилетний период (2005-2009гг.).

2. Нормирование. Так как размах колебаний 13-ти вторичных индикаторов был большой, то значение каждого индикатора делилось на среднее значение по выборке, чтобы иметь общий базис при вычислении агрегированного показателя.

3. Описательная статистика. Для уменьшения флуктуаций значений индикатора за различные годы, вычислялись 5-ти летние средние по каждому индикатору.

4. Объективные веса. На основе полученных 5-ти летних средних по каждому индикатору получены два вида объективных весов, вычисленные с помощью методов наименьших квадратов и коэффициента вариации.

5. Всесторонняя интеграция. Проведена всесторонняя интеграция субъективных АНР весов (полученных с помощью техники попарных сравнений) и объективных весов, полученных с помощью аддитивных и мультипликативных математических моделей (Guo, 2007).

Анализ данных описательной статистики (максимум, минимум, медиана, стандартное отклонение, коэффициент вариации и др.) показал, что распределение всех индикаторов удовлетворяют нормальному закону распределения, что позволяет использовать коэффициент корреляции Пирсона для дальнейшего анализа данных.

Математическое описание всесторонней интеграции субъективных и объективных весов состоит в следующем (Ding, Qin, 2011).

Записывается процедура линейного взвешивания нормированных индикаторов x_j в стандартном виде

$$y = \sum_{j=1}^m w_j x_j, \sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j > 0, j=1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

где w_j – вес нормированного индикатора x_j , m – число вторичных индикаторов, y – агрегированный показатель.

Если предположить, что 5-ти летнее среднее агрегированное значение \bar{y}_i для университета является идеальным значением, то нам нужно искать такое множество весов, чтобы вычисленные агрегированные значения показателя по университетам приводили к минимуму суммы квадратов отклонений этих значений от идеальных значений. Тогда математическое описание метода наименьших квадратов для рассматриваемой задачи будет выглядеть следующим образом

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (w_j x_{ij} - \bar{y}_i)^2, \sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j > 0, \\ j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n \end{cases}, \quad (7)$$

где m – число вторичных индикаторов, n – число университетов.

Для решения задачи (7) существуют много коммерческих программных пакетов, таких как Matlab, Eviews и другие.

Метод коэффициента вариации для расчета весов состоит в следующем. Коэффициент вариации является стандартным отклонением индикатора данным на его среднее значение. В математическом виде он будет иметь вид

$$\begin{cases} a_j = S_j / \bar{x}_j, \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \\ S_j = \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right]^{1/2}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m. \end{cases} \quad (8)$$

Тогда объективный вес j -го индикатора будет иметь вид

$$w_j = a_j / \sum_{j=1}^m a_j \quad (9)$$

Поэтому, чем больше коэффициент вариации индикатора, тем больше его вес.

Интегральные веса предлагается получить аддитивным или мультипликативным способом (Guo, 2007).

В первом случае

$$W_j = k_1 p_j + k_2 q_j, j = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

где p_j – субъективный вес, q_j – объективный вес, k_1, k_2 – постоянные.

Тогда агрегированный показатель научной и технологической конкурентоспособности i -го университетов определится по формуле

$$y_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij} = \sum_{j=1}^m (k_1 p_j + k_2 q_j) x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (11)$$

Для вычисления k_1 и k_2 решается задача на максимум

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n y_i = \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (k_1 p_j + k_2 q_j) x_{ij}, \\ k_1^2 + k_2^2 = 1, k_1 > 0, k_2 > 0 \end{array} \right. , \quad (12)$$

При этом k_1 и k_2 определяются с помощью принципа Лагранжа (громоздкие формулы для k_1 и k_2 не приводим). Этот подход назван additive integration (Ding, Qin, 2011).

При $k_1 = k_2$ для расчета w_j получаем формулу аналогичную формуле (9)

$$w_j = \frac{p_j + q_j}{\sum_{i=1}^m (p_i + q_i)}, j = 1, 2, \dots, m. \quad (13)$$

Этот подход назван additive integration two (Ding, Qin, 2011).

В этом состоит суть аддитивной интеграции субъективных и объективных весов. Для мультипликативной интеграции получается формула (Ding, Qin, 2011)

$$w_j = p_j q_j / \sum_{i=1}^m p_i q_i, j = 1, 2, \dots, m. \quad (14)$$

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

В развитие работы (Saisana, Saltelli, Tarantola, 2005) в работе (Benito, Romera, 2011) развит другой стохастический подход для оценки чувствительности композитного индикатора к малым случайным изменениям относительной важности (весов) простых индикаторов (субиндикаторов). Этот подход апробирован на основе 2008 Excellence Initiatives для университетов Франции и Германии. Здесь использованы две системы из четырех простых индикаторов для ранжирования академического профиля (Academic Profile) и устойчивости (Sustainability) университетов.

Первая система простых индикаторов имеет вид:

1. Foreign Students – доля иностранных студентов от общего числа студентов;
2. Academic Staff with a PhD – доля докторов наук от общего количества полных ставок академического состава (ППС в нашем понимании);
3. Graduate Studies – доля магистерских и PhD курсов (программ) от общего числа курсов (программ);
4. Graduate Students – доля студентов, обучающихся на магистерских и PhD курсах от общего количества студентов.

Вторая система простых индикаторов имеет вид:

1. Third-party funding / total funding – доля финансирования университетских исследований, получаемый из государственных и частных фондов от общего объема финансирования;
2. Employer's expenses – доля академических и неакадемических расходов от общего объема финансирования, получаемого университетами;

3. Total funding / undergraduate students – объем финансирования, приходящегося на одного студента, обучающегося по бакалаврской программе;

4. Total funding / total students – объем финансирования, приходящегося на одного студента.

Нормирование этих простых индикаторов x_j ($j=1,2,3,4$), проводится по формулам

$$I_j = 100 \times \frac{x_j}{\max\{x_j\}}, \quad (15)$$

если x_j является стимулятором,

$$I_j = 100 \times \frac{\min\{x_j\}}{x_j}, \quad (16)$$

если x_j является дестимулятором.

Отметим, что в работе (Benito, Romera, 2011) термины стимулятор и дестимулятор не используются.

Композитный индикатор для произвольного i -го университета вычисляется аналогично формуле (6)

$$CI_i = \sum_{j=1}^p I_{ij} w_j, \quad \sum_{j=1}^p w_j = 1 \quad (17)$$

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 вычисляется CI_i и университеты ранжируются в соответствии с этими значениями.

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

Проделаны также расчеты при введении objective weights, additive integration и additive integration two согласно, рассмотренной ранее работы (Ding, Qin, 2011). Описаны особенности ранжирования университетов при таком стохастическом моделировании.

В приложении к работе (Benito, Romera, 2011) приведены два алгоритма для моделирования по методу Монте Карло.

Мы из нашего опыта рекомендуем в ряде случаев простой метод взвешивания частных индикаторов, который в общем случае опишем следующим образом.

Пусть имеются m индикаторов x_j , которые с помощью последовательных сравнений удастся расположить по степени весомости: $x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_j > \dots > x_m$, где $>$ знак весомости (x_1 весомее x_2 , x_2 весомее x_3 и т.д.).

Тогда веса w_j индикаторов x_j естественно расположить с равномерным шагом при условии $\sum_{j=1}^m w_j = 1$.

В этом случае придем к следующим весам,

$$w_1 = \frac{2m}{m(m+1)}, w_2 = \frac{2(m-1)}{m(m+1)}, \dots, w_{m-1} = \frac{4}{m(m+1)}, w_m = \frac{2}{m(m+1)}, \quad \text{где при}$$

построении использовалась формула суммы членов натурального ряда: $1+2+\dots+m = \frac{m(m+1)}{2}$.

Мы ранее, не зная о работах по анализу чувствительности композитных индикаторов (Saisana, Saltelli, Tarantola, 2005; Benito, Romera, 2011), пришли к близким идеям, рассмотренным на примере простого имитационного упражнения для рейтингов ARWU, THE и QS.

Материалы и методы исследования

Композитные индикаторы рейтингов ARWU (Total Score), THE и QS (Overall Score для обоих рейтингов) через значения их частных (простых) индикаторов вычисляются по формулам.

$$Total\ Score=k_1*Alumni+k_2*Award+k_3*HiCi+k_4*N\&S+k_5*PUB+k_6*PCP, \quad (18)$$

$$Overall\ Score=k_1*T+k_2*R+k_3*C+k_4*II+k_5*IO, \quad (19)$$

$$Total\ Score=k_1*AR+k_2*SpF+k_3*ER+k_4*FS+k_5*IF+k_6*IS, \quad (20)$$

где k_i берутся из таблицы 2.

Таблица 2.

Матрица коэффициентов для уравнений (18-20)

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
ARWU	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
THE	0,3	0,3	0,3	0,025	0,075	0
QS	0,4	0,2	0,1	0,2	0,05	0,05

В уравнении (18) обозначения частных (простых) индикаторов соответствует их написанию в рейтинге ARWU, в уравнении (19) для рейтинга THE использовались обозначения: T-Teaching, R-Research, C-Citation, II-Industry Income, IO-International Outlook, в уравнении (20) для рейтинга QS использовались обозначения: AR- Academic Reputation, SpF - Citation per Faculty, ER - Employment Reputation, FS - Faculty Student, IF - International Faculty, IS - International Students.

Начнем теперь для каждого рейтинга варьировать значения весовых коэффициентов и смотреть, как оно будет влиять на ранжировки университетов. Для рейтинга ARWU матрица весовых коэффициентов в процентных значениях представлена в таблице 3. Первый вариант является базовым, а относительно него весовые коэффициенты варьировались в среднем на 5 процентов, в редких случаях - на десять.

Таблица 3.

Матрица весовых коэффициентов для рейтинга ARWU в процентах

Номера вариантов	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
1	10	20	20	20	20	10
2	5	15	25	20	25	10
3	10	20	25	15	20	10
4	10	20	20	15	25	10
5	5	15	25	20	20	15
6	10	20	30	15	15	10
7	10	20	20	10	30	10
8	5	15	25	25	20	10
9	10	20	15	25	20	10
10	10	20	25	20	20	5

Для этих девяти вариантов рассчитывались Total Score по уравнению (18) с коэффициентами в долях от единицы из таблицы 3. После чего университеты ранжировались по рассчитанному показателю.

Средние значения скачков рангов в каждой последовательной двадцатке университетов вычисляем по формулам (21)

$$\begin{aligned} \Delta_{1-20} &= \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=2}^{10} |R_i - R_j| / 180 \\ \Delta_{21-40} &= \sum_{i=21}^{40} \sum_{j=2}^{10} |R_i - R_j| / 180 \\ \Delta_{41-60} &= \sum_{i=41}^{60} \sum_{j=2}^{10} |R_i - R_j| / 180 \end{aligned}$$

(21)

$$\begin{aligned} \Delta_{61-80} &= \sum_{i=61}^{80} \sum_{j=2}^{10} |R_i - R_j| / 180 \\ \Delta_{81-100} &= \sum_{i=81}^{100} \sum_{j=2}^{10} |R_i - R_j| / 180 \end{aligned}$$

Помимо средних скачков рангов, нами фиксировались и максимальные скачки.

Для рейтинга ТНЕ матрица весовых коэффициентов в процентных значениях представлена в таблице 4.

*Таблица 4.
Матрица весовых коэффициентов для рейтинга ТНЕ в процентах*

Номера варианты в	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
1	30	30	30	2,5	7,5	0
2	30	30	30	5	5	0
3	30	30	30	7,5	2,5	0
4	40	25	25	7,5	2,5	0
5	20	35	35	7,5	2,5	0
6	20	30	30	10	10	0
7	40	25	25	2,5	7,5	0
8	40	20	20	10	10	0
9	25	25	25	15	10	0
10	40	20	20	5	15	0

На основе этой матрицы коэффициентов мы проделали расчеты девяти ранжировок университетов для ТНЕ за 2019 г. Расчеты делались для TOP-200 университетов, как и для предыдущего рейтинга.

Для этих девяти вариантов рассчитывались Overall Score по уравнению (19) с коэффициентами в долях от единицы из таблицы 4. После чего университеты ранжировались по рассчитанному показателю.

Для рейтинга QS матрица весовых коэффициентов в процентных значениях представлена в таблице 5.

*Таблица 5.
Матрица весовых коэффициентов для рейтинга QS в процентах*

Номера варианты в	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
1	40	20	10	20	5	5
2	40	25	15	10	5	5
3	40	15	20	10	5	5
4	35	25	20	10	5	5
5	35	20	25	10	5	5
6	35	20	20	15	5	5

7	30	20	20	10	10	10
8	35	20	15	10	10	10
9	30	15	20	15	10	10
10	20	20	20	20	10	10

На основе этой матрицы коэффициентов, как и ранее, мы проделали расчеты девяти ранжировок университетов для QS за 2019 г. Расчеты делались для TOP-200 университетов.

Для этих девяти вариантов рассчитывались Overall Score по уравнению (20) с коэффициентами в долях от единицы из таблицы 5. После чего университеты ранжировались по рассчитанному показателю.

Результаты и обсуждения

Расчеты рангов университетов по уравнению (18) с матрицей весовых коэффициентов, показанных в таблице 3, представлены в Приложении 1.

Из этого ранжирования, в первом приближении, следует, что чем хуже рейтинги университетов, тем больше значения максимальных и средних скачков рангов. Расчеты делались для TOP-200 университетов, так как часть университетов в вариантах расчетов с номерами 2-10 выходили в область TOP-200.

Значения максимальных и средних скачков рангов для второго варианта рейтинга ARWU представлены в таблице 6.

Таблица 6.

Максимальные и средние значения скачков в интервалах изменения рангов для второго варианта. ARWU, 2018 г.

Интервал изменения рангов	Максимальное значение скачка	Среднее значение скачка
1-20	4	0,444444
21-40	12	2,255556
41-60	16	2,955556
61-80	47	8,022222
81-100	49	9,244444

Данные этой таблицы подтверждают наше предположение о том, что максимальные и средние значения скачков рангов увеличиваются с ухудшением рейтингов университетов.

Расчеты рангов университетов по уравнению (19) с матрицей весовых коэффициентов, показанных в таблице 4, представлены в Приложении 2.

Значения максимальных и средних скачков рангов для второго варианта рейтинга THE представлены в таблице 7.

Таблица 7.

Максимальные и средние значения скачков в интервалах изменения рангов для второго варианта. THE, 2019 г.

Интервал изменения рангов	Максимальное значение скачка	Среднее значение скачка
1-20	5	1,4
21-40	13	2,95
41-60	13	3,916667
61-80	28	7,144444
81-100	43	8,316667

Расчеты рангов университетов по уравнению (20) с матрицей весовых коэффициентов, показанных в таблице 5, представлены в Приложении 3.

Значения максимальных и средних скачков рангов для второго варианта рейтинга QS представлены в таблице 8.

Таблица 8.

Максимальные и средние значения скачков в интервалах изменения рангов для второго варианта. QS, 2019 г.

Интервал изменения рангов	Максимальное значение скачка	Среднее значение скачка
1-20	18	3,411111
21-40	42	9,977778
41-60	25	8,733333
61-80	80	15,972222
81-100	79	16,933333

Аналогичные расчеты могут быть проделаны для всех остальных вариантов рассматриваемых университетских рейтингов. Во всех случаях, мы будем иметь, в целом, рост максимальных и средних значений скачков рангов университетов при ухудшении их рейтингов, что видно из таблиц 6-8.

Кросскорреляционные матрицы для таблиц трех приложений, вычисленных для Total Score и Overall Score, представлены в Приложении 4.

Коэффициенты корреляции Пирсона для рейтинга ARWU везде были выше 0,89. Худшие его значения наблюдались при корреляции Total Score между первым и вторым вариантом, девятым и пятым, девятым и восьмым вариантами.

Коэффициенты корреляции Пирсона для рейтинга THE везде были выше 0,92, а худшие его значения наблюдались при корреляции Overall Score между девятым и четвертым и девятым и седьмым вариантами.

Коэффициенты корреляции Пирсона для рейтинга QS везде были выше 0,83, а худшее его значение наблюдалось при корреляции Total Score между первым и десятым вариантом.

Рассмотренные во Введении более сложные подходы к стохастическому имитационному моделированию чувствительности композитных индикаторов, могут быть использованы к решению такой задачи для глобальных университетских рейтингов ARWU, THE и QS.

Заключение

Проделан обзор зарубежных работ по составлению композитных индикаторов на основе линейного взвешивания субиндикаторов. Возникающие здесь неопределенности связаны с различными методами нормирования значений субиндикаторов, различными подходами к их взвешиванию и неопределенностями в весах субиндикаторов. В рамках этих работ рассмотрены стохастические подходы для оценки чувствительности композитного индикатора к малым случайным изменениям весов субиндикаторов. Обзор этих зарубежных работ очень важен в связи с тем, что их методология неизвестна в отечественной практике решения аналогичных задач.

Мы ранее, не зная о работах по анализу чувствительности композитных индикаторов, пришли к близким идеям, рассмотренным на основе простых имитационных расчетов для TOP-100 университетских рейтингов ARWU, THE и QS.

Для этих трех рейтингов строились матрицы весовых коэффициентов для их субиндикаторов размерности $(m \times 10)$, где m – число субиндикаторов, 10 – число вариантов различного набора весов. Вычислялись средние и максимальные значения скачков в каждой последовательной двадцатке TOP-100 этих рейтингов.

В целом, во всех трех расчетах, максимальные и средние значения скачков рангов увеличивались с ухудшением рейтингов университетов.

Построены кросскорреляционные матрицы для Total Score и Overall Score рассматриваемых рейтингов для десяти вариантов наборов весов. Во всех случаях значения коэффициентов Пирсона были высокие, не менее 0,83.

Список литературы

1. Aguillo, I., Bar-Ilan, J., Levene, M., & Ortega, J. Comparing university rankings // *Scientometrics*. – 2010. – Vol. 85, № 1. – P. 243-256
2. Benito M., Romera R. Improving quality assessment of composite indicators in university rankings: a case study of French and German universities of excellence // *Scientometrics*. – 2011. – Vol. 89, № 1. – P. 153-176.
3. Cox D. R. et al. Quality-of-life assessment: can we keep it simple? // *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*. – 1992. – Vol. 155, № 3. – P. 353-375.
4. Ding J., Qiu J. An approach to improve the indicator weights of scientific and technological competitiveness evaluation of Chinese universities // *Scientometrics*. – 2011. – Vol. 86, № 2. – P. 285-297.
5. Freudenberg M. Composite indicators of country performance: a critical assessment. Report DSTI/IND (2003) 5 // *Organisation for Economic Co-operation and Development*. – 2003.
6. Guo, Y. J. The theory, method and application of comprehensive evaluation // *Beijing: Science Press*. – 2007.
7. Hwang, C. L., & Lin, M. J. Group decision making under multiple criteria: methods and applications // *Springer Science & Business Media*. – 1987.
8. Hwang, C. L., & Yoon, K. Multiple attribute decision making: Methods and applications // *Berlin: Springer*. – 1981.
9. Jamison D. T., Sandbu M. E. WHO ranking of health system performance // *Science*. – 2001. – С. 293
10. Kao, C., & Pao, H. L. An evaluation of research performance in management of 168 Taiwan universities // *Scientometrics*. – 2009. – Т. 78. – № 2. – С. 261-277.

11. Ma, J., Fan, Z. P., & Huang, L. H. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights //European journal of operational research. -1999. -Т. 112. - №. 2. - С. 397-404.
12. Mao, D. X. A combinational evaluation method resulting in consistency between subjective and objective evaluation in the least squares sense //Journal of CChinese Management Science. -2002. -Т. 10. -№. 5. - С. 95-97.
13. Moldan B. et al. (ed.). Sustainability indicators: A report on the project on indicators of sustainable development. - Chichester: Wiley, 1997. - Т. 58.
14. Saaty, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures //Journal of mathematical psychology. -1977. -Т. 15. -№. 3. - С. 234-281.
15. Saaty, T. L. The analytic hierarchy process //New York: McGraw-hill. - 1980.
16. Saaty, T. L. Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process. //Pittsburgh: RWS Publications. - 1990.
17. Saisana M., D'Hombres B. Higher education rankings: Robustness issues and critical assessment //How much confidence can we have in higher education rankings. - 2008.
18. Saisana M., Saltelli A., Tarantola S. Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators //Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society). - 2005. - Т. 168. - №. 2. - С. 307-323.
19. Saisana M., Tarantola S. State-of-the-art report on current methodologies and practices for composite indicator development. - Ispra, Italy: European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and the Security of the Citizen, Technological and Economic Risk Management Unit, 2002. - Т. 214.
20. Saltelli A. Chan, Scott. Sensitivity analysis. Probability and statistics series //John and Wiley & Sons, New York. - 2000.
21. Saltelli A. Tarantola, S., Campolongo, F., & Ratto, M. Sensitivity analysis in practice: a guide to assessing scientific models. - New York: Wiley, 2004. - Т. 1.
22. United Nations (2001) Human Development Report //Oxford: Oxford university press. - 2001.
23. Zeleny, M. Multiple criteria decision making //NY: McGraw-Hill. - 1982.

Приложение 1. Ранги университетов по рассчитанному показателю ARWU, 2018 г.

Базовый вариант		Номера вариантов									
№№/пп	Название университета	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Harvard University	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	Stanford University	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	University of Cambridge	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	University of California, Berkeley	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	Princeton University	7	6	7	7	6	7	7	6	7	
7	University of Oxford	6	7	6	6	7	6	6	7	6	
8	Columbia University	8	8	8	9	8	8	8	8	8	
9	California Institute of Technology	9	9	9	8	9	10	9	9	10	
10	University of Chicago	12	10	10	10	10	9	12	10	9	
11	University of California, Los Angeles	10	11	11	11	11	11	10	13	11	
12	Cornell University	13	12	12	13	12	13	13	12	14	
12	Yale University	15	14	14	14	13	14	14	11	13	
14	University of Washington	11	13	13	12	14	12	11	14	12	
15	University of California, San Diego	14	15	15	15	15	17	15	15	15	
16	University of Pennsylvania	16	16	17	16	16	16	16	16	16	
17	University College London	17	17	16	17	17	15	17	17	17	
18	Johns Hopkins University	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
19	Swiss Federal Institute of Technology Zurich	19	19	19	19	20	20	19	19	19	
20	Washington University in St. Louis	20	20	22	20	19	24	20	22	20	
21	University of California, San Francisco	22	21	23	21	23	25	21	20	21	
22	The University of Tokyo	26	25	21	27	27	21	26	21	23	
23	University of Toronto	21	23	20	22	25	19	22	23	24	
24	Imperial College London	27	26	24	25	24	22	27	24	27	
25	Northwestern University	25	24	26	24	22	26	25	26	25	
26	Duke University	23	22	27	23	21	27	23	29	22	
27	University of Michigan-Ann Arbor	24	27	25	26	29	23	24	25	26	
28	University of Wisconsin - Madison	30	28	28	30	31	28	30	27	28	
29	University of Copenhagen	29	30	29	28	32	29	28	28	30	
30	Rockefeller University	42	32	39	33	26	49	32	30	32	
30	University of North Carolina at Chapel Hill	28	29	30	29	28	30	29	32	29	
32	New York University	37	35	34	39	36	37	37	31	33	

32	The University of Edinburgh	32	31	32	31	30	33	31	35	31
34	The University of Manchester	34	33	31	34	33	32	33	34	34
35	Kyoto University	41	37	35	43	39	36	42	33	36
36	Sorbonne University	39	38	36	42	40	34	41	36	39
37	University of Minnesota, Twin Cities	35	36	37	38	38	35	38	39	35
38	The University of Melbourne	31	34	33	32	34	31	36	43	37
38	University of Colorado at Boulder	40	40	44	36	37	44	39	38	40
40	The University of Texas at Austin	36	39	38	35	35	42	34	40	38
41	University of Illinois at Urbana-Champaign	45	43	40	45	45	40	43	37	42
42	University of Paris-Sud (Paris 11)	53	41	41	51	41	39	54	41	44
43	University of British Columbia	38	42	42	40	42	38	40	44	41
44	Karolinska Institute	43	44	43	41	43	41	44	42	45
45	Tsinghua University	33	45	45	37	46	43	35	45	43
46	University of California, Santa Barbara	54	46	49	47	44	54	48	47	47
47	Heidelberg University	47	47	46	46	49	47	46	48	48
48	Technical University Munich	55	49	47	55	51	46	57	49	51
48	The University of Texas Southwestern Medical Center at	60	51	57	54	48	64	47	46	46
50	Vanderbilt University	49	48	48	48	50	45	53	52	50
51	University of Maryland, College Park	52	56	53	56	57	57	52	50	52
51	Utrecht University	51	50	51	52	47	53	51	54	49
53	University of Munich	58	55	52	57	56	55	56	51	54
54	University of Zurich	48	52	55	49	52	56	50	53	53
55	The University of Queensland	44	53	50	44	54	48	45	56	55
56	King's College London	57	54	54	59	55	50	59	57	57
57	Peking University	46	60	56	53	62	51	49	58	56
57	University of Helsinki	61	58	59	58	59	58	60	59	60
59	University of Geneva	69	61	62	65	60	67	63	55	61
60	University of Southern California	59	59	60	60	58	59	58	60	58
61	Ghent University	50	57	58	50	53	52	55	64	59
62	University of Oslo	82	62	61	83	67	61	85	62	63
63	Uppsala University	76	66	64	76	69	66	74	63	64
64	Ecole Normale Supérieure - Paris	111	71	68	75	77	82	101	61	100
65	Aarhus University	68	68	65	70	71	65	70	65	65
66	University of Groningen	74	67	66	74	70	63	76	66	66
67	Zhejiang University	56	63	63	63	68	60	61	76	62

68	University of Sydney	63	70	67	68	79	62	71	74	70
69	The Australian National University	85	77	75	82	78	83	80	70	75
70	Boston University	73	72	71	77	72	80	72	73	67
70	McGill University	81	80	69	87	93	68	83	67	76
70	Purdue University - West Lafayette	86	78	70	90	84	76	86	68	73
70	Rice University	89	69	89	72	64	95	78	82	72
74	Leiden University	79	75	72	78	73	77	77	79	78
74	Pennsylvania State University - University Park	66	76	79	71	74	84	65	77	68
74	University of Bristol	83	85	84	81	82	91	75	69	79
77	Stockholm University	96	87	83	96	85	87	96	71	84
77	Technion-Israel Institute of Technology	108	81	92	98	76	98	98	72	82
79	Erasmus University Rotterdam	72	64	88	64	61	89	67	97	71
79	Georgia Institute of Technology	71	73	86	66	65	88	66	83	77
81	Mayo Medical School	62	65	74	61	63	73	64	98	69
81	Swiss Federal Institute of Technology Lausanne	70	86	95	62	75	100	62	81	89
83	Nagoya University	101	89	85	101	90	85	102	78	86
83	University of California, Irvine	92	90	90	94	88	90	89	80	85
85	National University of Singapore	64	83	78	67	86	74	69	84	88
86	KU Leuven	65	82	80	69	83	78	68	88	83
86	McMaster University	88	74	82	85	66	81	91	95	80
86	Moscow State University	127	95	77	122	106	72	135	75	98
86	University of Florida	77	84	73	84	89	69	84	87	81
90	University of Pittsburgh, Pittsburgh Campus	75	79	76	86	81	71	82	92	74
91	Carnegie Mellon University	119	88	94	104	80	96	115	90	91
91	Monash University	67	91	81	73	94	75	73	86	90
93	The University of Western Australia	93	92	91	93	91	86	94	94	93
94	The Ohio State University - Columbus	80	94	87	92	97	79	87	93	87
95	The Hebrew University of Jerusalem	129	96	98	120	98	101	122	89	96
96	Nanyang Technological University	78	93	96	79	87	93	81	100	92
96	University of Basel	115	101	103	103	105	110	105	85	101
96	University of California, Davis	84	98	97	89	104	97	79	91	94
99	University of Goettingen	117	97	102	110	96	107	109	96	95
100	The University of Texas M. D. Anderson Cancer Center	94	100	105	80	95	112	90	108	112

Приложение 2. Ранги университетов по рассчитанному показателю THE, 2019 г.

Базовый вариант		Номера вариантов									
№№/III	Название университета	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	University of Oxford	1	2	2	2	1	1	2	1	1	
2	University of Cambridge	5	5	5	5	5	2	5	3	3	
3	Stanford University	3	4	4	4	4	3	4	4	4	
4	Massachusetts Institute of Technology	4	3	3	3	2	5	1	2	2	
5	California Institute of Technology	2	1	1	1	3	4	3	5	5	
6	Harvard University	6	6	6	6	6	6	6	7	6	
7	Princeton University	7	7	7	7	8	7	7	8	7	
8	Yale University	8	8	8	9	10	8	10	11	10	
9	Imperial College London	10	11	12	11	9	10	8	6	8	
10	University of Chicago	11	12	11	12	14	9	14	14	11	
11	ETH Zurich	13	14	14	14	11	11	12	10	9	
12	Johns Hopkins University	9	9	9	8	7	13	9	9	12	
13	University of Pennsylvania	12	10	10	10	12	12	11	12	13	
14	UCL	15	19	19	17	15	15	17	13	14	
15	University of California, Berkeley	14	15	17	13	16	16	18	17	17	
16	Columbia University	16	18	16	18	17	14	16	16	15	
17	University of California, Los Angeles	18	16	18	16	18	17	19	19	19	
18	Duke University	17	13	13	15	13	18	13	15	16	
19	Cornell University	20	21	21	22	24	19	22	22	21	
20	University of Michigan-Ann Arbor	21	20	20	20	25	21	23	28	23	
21	University of Toronto	22	23	22	24	20	22	21	20	20	
22	Tsinghua University	19	17	15	19	19	20	15	21	22	
23	National University of Singapore	24	25	23	27	22	23	20	18	18	
24	Carnegie Mellon University	25	26	29	25	26	26	29	26	25	
25	Northwestern University	23	22	24	21	21	28	25	23	31	
26	London School of Economics and Political Science	29	31	31	30	29	27	31	29	24	
27	New York University	27	29	27	29	34	25	30	33	29	
28	University of Washington	28	28	30	26	30	29	35	35	35	
29	University of Edinburgh	32	33	34	33	31	30	34	31	27	
30	University of California, San Diego	26	24	26	23	23	31	27	25	34	
31	Peking University	31	30	25	34	41	24	26	40	26	

32	LMU Munich	30	27	28	28	27	33	24	27	33
33	University of Melbourne	33	32	33	32	28	32	28	24	28
34	Georgia Institute of Technology	34	34	35	31	33	36	38	34	37
35	École Polytechnique Fédérale de Lausanne	35	37	37	38	32	35	32	30	32
36	University of Hong Kong	37	40	38	46	39	34	33	32	30
37	University of British Columbia	39	43	47	40	42	40	43	41	39
38	King's College London	41	44	46	42	40	41	42	38	38
39	University of Texas at Austin	36	35	36	35	46	39	48	54	52
40	Karolinska Institute	40	39	44	36	36	47	45	42	45
41	The Hong Kong University of Science and Technology	45	46	48	43	37	46	41	36	40
42	Paris Sciences et Lettres - PSL Research University Paris	44	45	41	50	50	38	39	45	36
43	The University of Tokyo	38	36	32	45	53	37	36	52	43
44	University of Wisconsin-Madison	43	42	40	44	54	42	50	56	51
45	McGill University	48	51	51	51	49	43	49	46	41
46	Technical University of Munich	42	38	39	37	35	45	37	37	42
47	Heidelberg University	47	47	43	49	51	44	47	51	47
48	KU Leuven	46	41	42	39	38	50	40	43	50
49	Australian National University	52	55	58	52	48	51	53	47	48
50	University of Illinois at Urbana-Champaign	49	49	49	47	55	48	57	57	55
51	Nanyang Technological University, Singapore	51	50	52	48	43	52	44	39	44
52	University of California, Santa Barbara	50	48	54	41	44	55	54	50	56
53	Brown University	53	53	53	56	60	49	58	61	54
54	Chinese University of Hong Kong	55	60	59	58	52	53	52	48	46
55	Washington University in St Louis	54	56	55	55	61	54	62	65	58
56	University of North Carolina at Chapel Hill	56	54	56	54	68	57	68	79	66
57	University of Manchester	60	62	63	62	57	56	59	55	53
58	Delft University of Technology	57	58	57	57	45	60	46	44	49
59	University of California, Davis	62	61	61	60	65	61	65	68	64
60	University of Sydney	63	63	69	59	56	64	63	53	59
61	Wageningen University & Research	58	59	60	53	47	65	56	49	57
62	University of Amsterdam	65	66	73	64	66	66	79	70	67
63	Seoul National University	61	57	50	65	74	58	55	74	62
64	Purdue University West Lafayette	64	65	62	71	67	62	61	63	60
65	Kyoto University	59	52	45	61	70	59	51	71	61
66	University of Southern California	66	71	75	70	80	67	84	81	73

67	Humboldt University of Berlin	69	72	68	82	83	63	69	78	63
68	Leiden University	67	67	76	63	58	73	75	62	72
69	University of Queensland	70	78	78	73	63	71	70	58	65
70	Erasmus University Rotterdam	73	80	90	68	64	80	86	66	81
71	University of Minnesota	68	64	64	66	75	70	73	90	90
72	Ohio State University	72	74	74	77	84	69	81	93	79
73	Sorbonne University	77	85	77	94	101	68	78	96	68
74	Boston University	79	86	80	88	97	72	89	100	85
75	Utrecht University	74	76	84	67	72	83	90	83	99
76	University of Freiburg	71	69	72	69	62	76	64	59	71
77	McMaster University	76	77	79	72	59	87	72	60	76
78	University of Bristol	91	95	106	90	85	88	104	88	86
79	University of Groningen	81	82	88	74	69	94	85	69	88
80	University of Warwick	92	103	105	97	87	81	92	80	74
81	Pennsylvania State University	82	83	81	83	100	82	102	110	107
82	University of Maryland, College Park	84	87	91	80	103	97	118	126	125
83	Sungkyunkwan University (SKKU)	75	68	67	75	77	75	66	75	82
84	Emory University	89	89	86	92	104	79	98	109	95
85	Monash University	90	90	93	87	73	92	80	67	75
86	Rice University	93	96	96	95	96	85	99	98	89
87	RWTH Aachen University	78	73	71	79	76	78	67	73	80
88	Uppsala University	85	84	89	76	79	100	87	82	101
89	University of Tübingen	88	88	87	85	86	93	88	95	97
90	Charité - Universitätsmedizin Berlin	83	81	82	78	78	98	83	77	92
91	University of Montreal	94	92	94	91	82	95	82	72	77
92	University of Zurich	99	104	110	102	88	99	95	84	83
93	University of Science and Technology of China	80	70	66	81	91	77	74	103	98
94	University of Glasgow	104	110	116	100	94	103	114	94	94
95	Michigan State University	98	101	95	105	114	84	105	116	93
96	University of California, Irvine	95	94	101	89	89	102	109	97	105
97	UNSW Sydney	101	107	112	103	90	101	101	86	87
98	Lund University	96	91	100	84	81	106	94	76	102
99	Dartmouth College	97	93	85	101	127	89	111	137	112
100	University of Helsinki	100	102	109	93	110	105	122	125	123

Приложение 3. Ранги университетов по рассчитанному показателю QS, 2019 г.

Базовый вариант		Номера вариантов								
№№/пп	Название университета	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Stanford University	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	Harvard University	5	5	6	6	7	5	5	6	7
4	California Institute of Technology (Caltech)	11	8	11	9	10	9	9	8	9
5	University of Oxford	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	University of Cambridge	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	ETH Zurich - Swiss Federal Institute of Technology	9	10	9	11	9	8	8	9	8
8	Imperial College London	6	6	5	5	5	6	6	5	5
9	University of Chicago	12	12	12	12	14	12	11	12	14
10	UCL	7	7	7	7	6	7	7	7	6
11	National University of Singapore (NUS)	8	9	8	8	8	10	10	10	10
12	Nanyang Technological University, Singapore (NTU)	14	14	13	13	12	11	12	11	11
13	Princeton University	19	22	22	23	22	19	17	22	24
14	Cornell University	18	20	21	21	19	16	15	16	17
15	Yale University	10	11	10	10	11	13	14	14	13
16	Columbia University	15	15	15	15	21	15	16	21	27
17	Tsinghua University	23	23	23	22	24	26	30	30	35
18	The University of Edinburgh	13	13	14	14	13	14	13	13	12
19	University of Pennsylvania	22	18	16	16	20	21	21	23	23
20	University of Michigan	21	17	17	17	18	23	23	24	26
21	Johns Hopkins University	41	26	38	30	34	29	34	27	31
22	EPFL - Ecole Polytechnique Federale de Lausanne	38	31	30	27	26	22	27	17	15
23	The University of Tokyo	31	30	28	29	38	36	40	48	60
24	The Australian National University	29	28	31	35	27	27	22	26	25
25	The University of Hong Kong	20	16	19	18	15	17	19	15	16
26	Duke University	52	45	49	41	53	47	50	52	62
27	University of California, Berkeley (UCB)	27	36	35	40	33	35	31	33	36
28	University of Toronto	16	19	20	19	16	20	20	19	20
29	The University of Manchester	17	21	18	20	17	18	18	18	18
30	Peking University	25	27	26	31	28	32	32	35	40
31	King's College London	28	24	25	24	23	24	25	20	19
32	University of California, Los Angeles (UCLA)	35	44	41	48	46	44	39	49	53

33	McGill University	24	25	24	25	25	25	24	25	21
34	Northwestern University	43	34	39	33	36	38	44	36	41
35	Kyoto University	39	35	36	34	45	48	49	55	67
36	Seoul National University	42	40	40	37	49	52	52	57	69
37	The Hong Kong University of Science and Technology	45	42	47	46	39	37	35	31	32
38	The London School of Economics and Political Science (LSE)	32	38	34	36	31	28	28	28	22
39	The University of Melbourne	26	33	33	38	30	30	26	29	29
40	KAIST - Korea Advanced Institute of Science & Technology	59	58	58	56	64	60	60	70	82
41	University of California, San Diego (UCSD)	57	52	57	53	56	55	55	54	61
42	The University of Sydney	30	39	37	43	35	33	29	32	33
43	New York University (NYU)	34	29	29	28	37	34	37	42	50
44	Fudan University	36	37	32	32	32	39	42	40	37
45	The University of New South Wales (UNSW Sydney)	37	46	45	51	43	41	33	39	38
46	Carnegie Mellon University	53	55	54	57	55	50	47	46	46
47	University of British Columbia	40	43	44	50	42	45	38	43	45
48	The University of Queensland	50	51	52	54	50	49	43	44	44
49	The Chinese University of Hong Kong (CUHK)	48	41	48	42	41	43	45	37	39
50	Université PSL	33	32	27	26	29	31	36	34	34
51	University of Bristol	47	49	46	44	44	46	48	45	42
52	Delft University of Technology	56	59	55	59	54	53	51	47	43
53	University of Wisconsin-Madison	60	53	62	52	59	67	66	66	76
54	The University of Warwick	44	48	43	45	40	40	41	38	30
55	City University of Hong Kong	80	67	76	66	66	57	63	51	47
56	Brown University	75	69	72	68	69	63	68	59	57
57	University of Amsterdam	71	70	77	77	74	74	73	69	73
58	Tokyo Institute of Technology	62	61	60	58	71	68	71	76	83
59	Monash University	49	56	53	63	52	54	46	50	48
60	Shanghai Jiao Tong University	58	64	59	67	60	69	61	71	68
61	Technical University of Munich	46	47	42	39	47	51	54	53	52
62	Ludwig-Maximilians-Universität München	55	57	56	60	58	65	58	68	74
63	University of Texas at Austin	77	95	88	98	103	101	84	117	143
64	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	69	60	66	61	68	72	74	72	78
65	Ecole Polytechnique	54	54	50	47	48	42	53	41	28
66	University of Washington	91	100	102	108	99	103	92	97	108
67	Osaka University	72	73	73	72	79	82	80	88	100

68	Zhejiang University	61	68	63	65	61	64	64	65	58
69	Georgia Institute of Technology	83	99	87	93	90	84	75	86	87
70	University of Glasgow	68	63	70	69	62	59	59	56	54
71	University of Illinois at Urbana-Champaign	92	106	105	113	111	102	90	105	131
72	National Taiwan University (NTU)	79	84	84	87	91	98	93	110	130
73	Universidad de Buenos Aires (UBA)	51	50	51	49	51	56	56	60	65
74	Durham University	64	79	68	79	70	58	57	61	51
75	Sorbonne University	81	77	82	81	84	88	86	87	106
76	The University of Sheffield	74	75	75	76	73	70	69	64	59
77	Tohoku University	88	83	81	80	87	89	100	101	115
78	University of Zurich	67	62	61	55	57	61	70	58	49
79	University of Birmingham	63	71	64	70	63	62	62	62	55
80	University of Copenhagen	78	65	74	64	67	77	85	73	71
81	KU Leuven	86	102	91	105	88	95	88	90	86
82	University of Nottingham	66	72	67	71	65	66	65	63	56
83	Pohang University of Science And Technology (POSTECH)	131	132	115	100	115	112	128	111	101
84	University of North Carolina, Chapel Hill	102	92	90	84	95	107	113	107	122
85	The University of Auckland	73	81	80	86	78	78	72	77	81
86	Korea University	76	80	71	73	82	79	83	91	95
87	Rice University	138	126	129	110	108	91	107	84	79
88	Universiti Malaya (UM)	84	76	78	74	77	76	82	81	84
89	The Ohio State University	82	78	79	78	76	83	89	80	77
90	Lomonosov Moscow State University	70	66	65	62	75	73	76	82	85
91	The University of Western Australia	93	108	92	104	86	85	77	79	70
92	Lund University	85	82	83	82	80	81	78	78	75
93	Boston University	89	94	85	85	89	86	91	89	91
94	University of Leeds	65	74	69	75	72	71	67	67	64
95	Pennsylvania State University	94	121	106	118	122	114	102	129	146
96	University of Southampton	90	88	86	83	81	75	79	74	66
97	University of St Andrews	104	105	93	88	85	80	87	75	63
98	University of Science and Technology of China	160	157	150	137	158	145	152	152	177
99	Eindhoven University of Technology	124	131	111	102	101	90	109	85	72
100	Purdue University	87	96	89	89	83	87	81	83	80

Приложение 4. Кросскорреляционные матрицы для вариантов таблиц трех приложений, вычисленных для Total Score и Overall Score

ARWU/2018	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8	Вариант 9	Вариант 10
Вариант 1	1									
Вариант 2	0,929419	1								
Вариант 3	0,989568	0,947685	1							
Вариант 4	0,986228	0,94256	0,98399	1						
Вариант 5	0,951682	0,983737	0,9684	0,947837	1					
Вариант 6	0,976665	0,94122	0,992642	0,961627	0,969386	1				
Вариант 7	0,965392	0,946551	0,969572	0,992567	0,938185	0,943434	1			
Вариант 8	0,941899	0,991881	0,956136	0,938051	0,991342	0,95663	0,929903	1		
Вариант 9	0,989579	0,896584	0,964802	0,976083	0,918152	0,946714	0,95404	0,911219	1	
Вариант 10	0,983873	0,954495	0,99018	0,98029	0,956633	0,981369	0,969888	0,9604	0,964458	1

THE/2019	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8	Вариант 9	Вариант 10
Вариант 1	1									
Вариант 2	0,997482	1								
Вариант 3	0,989854	0,997436	1							
Вариант 4	0,983677	0,992655	0,996674	1						
Вариант 5	0,98905	0,995041	0,995988	0,985382	1					
Вариант 6	0,979437	0,982171	0,979842	0,965955	0,987581	1				
Вариант 7	0,996603	0,995969	0,990261	0,990774	0,982108	0,96894	1			
Вариант 8	0,981474	0,987711	0,98894	0,990072	0,980117	0,98282	0,98616	1		
Вариант 9	0,971669	0,97082	0,964916	0,952721	0,970912	0,995461	0,962482	0,980748	1	
Вариант 10	0,989217	0,985297	0,976281	0,974459	0,970799	0,979867	0,989993	0,989733	0,984845	1

QS/2019	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8	Вариант 9	Вариант 10
Вариант 1	1									
Вариант 2	0,935212	1								
Вариант 3	0,944499	0,983582	1							
Вариант 4	0,929676	0,99238	0,992042	1						
Вариант 5	0,927717	0,972457	0,993671	0,990535	1					
Вариант 6	0,920215	0,983576	0,988079	0,989248	0,983283	1				
Вариант 7	0,923669	0,975779	0,978452	0,981175	0,974651	0,991771	1			
Вариант 8	0,928567	0,982146	0,968898	0,974502	0,954526	0,984073	0,989966	1		
Вариант 9	0,903338	0,952746	0,957823	0,955388	0,950075	0,982745	0,990778	0,982292	1	

Вариант 10	0,837466	0,907082	0,904066	0,910131	0,901316	0,950401	0,962804	0,950889	0,984663	1
------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	---