

УДК 004:330.43:616-071.3

99. МНОГОФАКТОРНОЕ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДЕКСА МАССЫ ТЕЛА КАК ИНДИКАТОРА КАЧЕСТВА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА В КОНТЕКСТЕ ЦУР РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Шелепова В.А., студент гр.372301

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

г. Минск, Республика Беларусь

Хацкевич Г. А – доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор

Аннотация. В статье рассматривается построение многофакторной эконометрической модели индекса массы тела как индикатора качества человеческого капитала в контексте Целей устойчивого развития Республики Беларусь. На основе анализа парных и частных корреляций выявлены факторы, оказывающие наиболее устойчивое влияние на ИМТ. Построенная регрессионная модель включает возраст, пол и тип телосложения. Обоснована необходимость учета опосредованного влияния поведенческих и психоэмоциональных факторов при мониторинге качества человеческого капитала.

Ключевые слова. Индекс массы тела, человеческий капитал, Цели устойчивого развития, эконометрическое моделирование, множественная регрессия, частные корреляции, мультиколлинеарность, Республика Беларусь

Введение. Человеческий капитал в современном мире становится ключевым фактором устойчивого социального развития и экономического роста. Первоначально под «человеческим капиталом» понимались вложения в человека, повышающие его способность к труду благодаря образованию и профессиональному умению. Затем это понятие стало расширяться, поскольку способность человека к труду в значительной мере зависит от его здоровья, а с перспективных позиций – и от его долголетия. На способность человека к труду и на качество его труда влияют многие стороны жизни: благосостояние, потребительские расходы, жилищные условия и многое другое [1].

Такая трансформация понятия «человеческий капитал» нашла своё отражение в международной повестке устойчивого развития. В 2015 году Генеральная Ассамблея ООН приняла резолюцию «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», которая закрепила 17 Целей устойчивого развития (ЦУР). В рамках этой повестки здоровье населения перестало рассматриваться исключительно как социальная сфера, а стало восприниматься как стратегический ресурс и один из ключевых индикаторов прогресса [2].

Особое значение в этом контексте приобретает ЦУР 3 («Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте»), которая напрямую связывает качество человеческого капитала с показателями физического здоровья нации. Индикатор 3.4.1 («Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, рака, диабета или хронических респираторных заболеваний») и ряд других целевых показателей непосредственно коррелируют с распространённостью ожирения и избыточной массы тела, которые, по данным Всемирной организации здравоохранения, являются одними из основных факторов риска развития неинфекционных заболеваний [3, 4]

Для Республики Беларусь, которая взяла на себя обязательства по достижению ЦУР и интегрировала их в национальную стратегию устойчивого социально-экономического развития до 2035 года [5], мониторинг факторов, влияющих на здоровье населения, приобретает особую актуальность. Индекс массы тела (далее – ИМТ), будучи простым и доступным показателем, позволяет не только оценивать индивидуальные риски, но и служит важным индикатором состояния человеческого капитала на популяционном уровне. Однако, как отмечается в ряде исследований использование стандартного ИМТ без учёта индивидуальных и поведенческих факторов может приводить к искажённой оценке реальной ситуации.

В связи с этим возникает необходимость в разработке более точных инструментов анализа, которые позволили бы учитывать многообразие факторов, формирующих массу тела и ИМТ. Эконометрическое моделирование предоставляет такие возможности, позволяя перейти от простой констатации факта к количественной оценке вклада каждого фактора – от базовых антропометрических характеристик (рост, масса тела, тип телосложения) до поведенческих паттернов, психоэмоционального состояния и генетической предрасположенности.

Целью настоящего исследования является построение и статистический анализ многофакторной эконометрической модели индекса массы тела как интегрального индикатора качества человеческого капитала в контексте достижения Целей устойчивого развития в Республике Беларусь.

Основная часть. Для количественной оценки влияния различных факторов на ИМТ в настоящем исследовании применяется аппарат множественного регрессионного анализа. Выбор данного метода обусловлен его способностью выявлять и измерять силу влияния сразу нескольких независимых переменных на зависимую переменную при контроле прочих условий, что позволяет получить объективные и статистически обоснованные и значимые результаты.

В отличие от традиционного подхода к анализу ИМТ, ограничивающегося антропометрическими показателями, возрастом и полом [6, 7], в данной работе модель расширена до 10 факторов, объединённых в четыре блока: базовые антропометрические и демографические характеристики, поведенческие факторы (образ жизни), психоэмоциональное состояние, а также генетические особенности. Такая структура позволяет наиболее полно учесть многообразие факторов, формирующих массу тела, и оценить их вклад в изменение ИМТ. Показатель индекса массы тела разработан бельгийским социологом и статистиком Адольфом Кетле в 1835 году.

В качестве зависимой (эндогенной) переменной был выбран индекс массы тела, который рассчитывается, как отношение массы тела (в килограммах) к квадрату роста (в метрах) (1).

$$BMI = \frac{\text{weight}}{(\text{height}/100)^2}, \quad (1)$$

где BMI – рассчитанный индекс массы тела, weight – вес в килограммах, height – рост в сантиметрах.

Выбор ИМТ в качестве зависимой переменной обусловлен тем, что данный показатель является стандартизированным и широко применяется в международной практике мониторинга здоровья населения, в том числе в системе индикаторов Целей устойчивого развития.

Базовые антропометрические и демографические факторы: рост (height), возраст (age), тип телосложения и пол. Для качественных переменных было использовано преобразование в набор фиктивных (dummy) переменных. Таким образом, пол (gend) был закодирован, как 1 – мужской, 0 – женский. Базовой категорией для типа телосложения является средний тип телосложения, соответственно мелкий тип телосложения (frame_small) 1 – мелкий тип, 0 – иначе. Аналогично для крупного типа телосложения (frame_large).

Поведенческие факторы отвечающие за образ жизни: физическая активность (очень слабая, слабая, умеренная, высокая), питание (сбалансированное/нет), среднее количество часов сна (avg_hours_of_sleep) в сутки. Базовой категорией для физической активности выступает очень слабая. Поэтому слабая физическая активность (act_low) закодирована, как 1 – слабая физическая активность, иначе. Аналогично для умеренной (act_mod) и высокой (act_high). Сбалансированность питания (nutr) закодировано как 1 – сбалансированное, 0 – несбалансированное.

Психоэмоциональные и медико-генетические факторы также были закодированы: ментальное состояние (mental) (1 – в норме, 0 – присутствуют недомогания), проблемы со щитовидной железой (1 – имеются, 0 – отсутствуют), а также генетическая предрасположенность к лишнему весу (1 – имеется (наличие родственников с ожирением), 0 – отсутствует).

Таблица 3 – Психоэмоциональные и медико-генетические факторы

На основе идентифицированных переменных построена модель множественной линейной регрессии (2).

$$BMI = \beta_0 + \beta_1 \text{height} + \beta_2 \text{age} + \beta_3 \text{gend} + \beta_4 \text{frame_small} + \beta_5 \text{frame_large} + \beta_6 \text{act_low} + \beta_7 \text{act_mod} + \beta_8 \text{act_high} + \beta_9 \text{nutr} + \beta_{10} \text{avg_hours_of_sleep} + \beta_{11} \text{mental} + \beta_{12} \text{thyroid_problem} + \beta_{13} \text{genet} + \varepsilon, \quad (2)$$

где β_0 – свободный член; $\beta_1 \dots \beta_{13}$ – коэффициенты регрессии, отражающие степень влияния каждого фактора на ИМТ при неизменности прочих условий; ε – случайная ошибка модели, отражающая влияние неучтённых факторов.

Для оценки тесноты связи между индексом массы тела и исследуемыми факторами, а также для выявления возможной мультиколлинеарности, построена корреляционная матрица (рисунок 1).

	Correlation														
	BMI	HEIGHT	AGE	AVG_HOU	GEND	FRAME_S	FRAME_LA	ACT_LOW	ACT_MOD	ACT_HIGH	NUTR	MENTAL	THYROID	GENET	
BMI	1.000000	0.072256	0.499493	0.170650	0.217731	-0.303716	0.440391	-0.008564	-0.070116	0.077118	-0.029904	-0.031095	0.102348	0.131550	
HEIGHT	0.072256	1.000000	-0.165126	0.001420	0.657910	-0.148136	0.243564	-0.102554	0.100779	0.137030	-0.033366	0.054211	-0.191641	-0.015133	
AGE	0.499493	-0.165126	1.000000	0.265312	-0.043035	-0.060465	0.122832	0.017909	-0.074758	-0.109230	0.064982	0.069738	0.151050	0.064057	
AVG_HOURS_OF_SLEEP	0.170650	0.001420	0.265312	1.000000	0.082415	-0.054706	0.009984	0.036596	-0.092930	-0.029259	0.160701	0.129056	0.140455	-0.138891	
GEND	0.217731	0.657910	-0.043035	0.082415	1.000000	-0.094913	0.215803	-0.059842	-0.016071	0.226242	-0.008757	-0.008562	-0.183225	-0.058201	
FRAME_SMALL	-0.303716	-0.148136	-0.060465	-0.054706	-0.094913	1.000000	-0.160477	0.028833	-0.048412	0.026315	-0.086879	0.001067	0.044912	-0.015377	
FRAME_LARGE	0.440391	0.243564	0.122832	0.009984	0.215803	-0.160477	1.000000	-0.049773	-0.049594	0.207091	-0.030519	0.073234	-0.037174	0.182577	
ACT_LOW	-0.008564	-0.102554	0.017909	0.036596	-0.059842	0.028833	-0.049773	1.000000	-0.491464	-0.256076	-0.086226	-0.093737	-0.007971	-0.037720	
ACT_MOD	-0.070116	0.100779	-0.074758	-0.092930	-0.016071	-0.048412	-0.049594	-0.491464	1.000000	-0.286778	0.165389	0.121896	-0.030543	-0.122500	
ACT_HIGH	0.077118	0.137030	-0.109230	0.029259	0.226242	0.026315	0.207091	-0.256076	-0.286778	1.000000	0.148873	0.034749	-0.069303	0.044522	
NUTR	-0.029904	-0.033366	0.064982	0.160701	-0.008757	-0.086879	-0.030519	-0.086226	0.165389	0.148873	1.000000	0.127532	-0.188885	-0.276611	
MENTAL	-0.031095	0.054211	0.069738	0.129056	-0.008562	0.001067	0.073234	-0.093737	0.121896	0.034749	0.127532	1.000000	-0.147049	-0.071210	
THYROID_PROBLEM	0.102348	-0.191641	0.151050	0.140455	-0.183225	0.044912	-0.037174	-0.007971	-0.030543	-0.069303	-0.188885	-0.147049	1.000000	0.157781	
GENET	0.131550	-0.015133	0.064057	-0.138891	-0.058201	-0.015377	0.182577	-0.037720	-0.122500	0.044522	-0.276611	-0.071210	0.157781	1.000000	

Рисунок 1 – Корреляционная матрица

Корреляционная матрица позволяет выявить характер и тесноту линейных связей между исследуемыми переменными. Наибольшая парная корреляция с индексом массы тела наблюдается у переменных age ($r = 0,499$), frame_large ($r = 0,440$) и frame_small ($r = -0,304$), что подтверждает значимую роль возрастных и антропометрических факторов в формировании ИМТ.

В то же время особое внимание стоит обратить на слабую выраженность парных связей между ИМТ и поведенческими факторами: nutr ($r = -0,030$), act_mod ($r = -0,070$), mental ($r = -0,031$). Это может свидетельствовать о том, что влияние образа жизни на ИМТ проявляется не прямо, а опосредованно, через другие переменные.

Между независимыми переменными также выявлены значимые корреляции. Например, height и gend ($r = 0,658$) указывают на связь роста с полом, age и avg_hours_of_sleep ($r = 0,264$) – на возрастные изменения в режиме сна. Такие взаимосвязи могут приводить к мультиколлинеарности и требуют более глубокого анализа с использованием частных корреляций.

В таблице 1 собраны значения парных и частных корреляций.

Таблица 1 – Сводная таблица парных и частных корреляций

Фактор	Парная корреляция с BMI	Частная корреляция с BMI	Изменения и интерпретация
height	0,072	-0,100	Эффект подавления: рост влияет на BMI через другие факторы
age	0,499	0,483	Стабильно прямое влияние
gend	0,218	0,208	Стабильное влияние (мужской пол связан с более высоким BMI)
frame_small	-0,304	-0,291	Стабильное обратное влияние
frame_large	0,440	0,379	Влияние частично опосредовано другими факторами
act_low	-0,009	0,031	Слабая активность не приводит к низкому BMI при контроле прочих
act_mod	-0,070	0,040	Умеренная активность не снижает BMI напрямую
act_high	0,077	0,058	Стабильное слабое влияние
nutr	-0,030	-0,089	Влияние усиливается при контроле других факторов
avg_hours_of_sleep	0,171	0,054	Влияние сна обусловлено другими факторами
mental	-0,031	-0,089	Влияние усиливается при контроле других факторов
thyroid_problem	0,102	0,080	Стабильное слабое влияние
genet	0,132	0,035	Влияние генетики опосредовано другими факторами

Для оценки «чистого» влияния каждого фактора на ИМТ при исключении влияния остальных переменных были рассчитаны частные корреляции. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Стабильное влияние демонстрируют факторы age (частная корреляция 0,483), gend (0,208), frame_small (-0,291) и frame_large (0,379). Незначительное снижение частных корреляций относительно парных указывает на то, что эти переменные оказывают преимущественно прямое воздействие на ИМТ, слабо зависящее от других факторов.

Эффект подавления наблюдается для переменных height, act_low и act_mod. Для роста парная корреляция с ИМТ составляла 0,072, тогда как частная приняла отрицательное значение (-0,100). Это означает, что при контроле прочих факторов более высокий рост ассоциируется с более низким ИМТ, однако этот эффект «маскируется» другими переменными, в первую очередь полом и типом

телосложения. Аналогично для показателей физической активности: слабая и умеренная активность в парном анализе практически не коррелируют с ИМТ, тогда как частные корреляции становятся положительными (0,031 и 0,040 соответственно), что может свидетельствовать о наличии компенсаторных механизмов.

Опосредованное влияние выявлено для переменных `avg_hours_of_sleep` и `genet`. Частные корреляции этих факторов (0,054 и 0,035) значительно ниже парных (0,171 и 0,132), что указывает на то, что их воздействие на ИМТ в значительной степени реализуется через другие переменные, такие как психоэмоциональное состояние, возраст и тип телосложения.

Усиление влияния при контроле других факторов наблюдается для переменных `nutr` и `mental`. Их частные корреляции (–0,089 и –0,088) превышают по модулю парные (–0,030 и –0,031). Это говорит о том, что сбалансированное питание и нормальное психоэмоциональное состояние действительно оказывают положительное влияние на поддержание нормального ИМТ, однако этот эффект в парном анализе нивелируется влиянием сопутствующих факторов.

Сравнение парных и частных корреляций позволяет диагностировать наличие мультиколлинеарности в модели. Значительное расхождение между этими показателями для переменных `height`, `avg_hours_of_sleep`, `genet`, а также изменение знака для `act_low` и `act_mod` свидетельствует о том, что независимые переменные не являются ортогональными, а их влияние на зависимую переменную частично перекрывается. Наиболее тесные взаимосвязи между факторами выявлены для пар `height`–`gend` ($r = 0,658$), `age`–`avg_hours_of_sleep` ($r = 0,264$) и `frame_large`–`gend` ($r = 0,217$). Это может приводить к завышению стандартных ошибок коэффициентов регрессии и снижению статистической значимости отдельных факторов, что объясняет, почему в финальной регрессионной модели остаются лишь переменные `age`, `gend` и типы телосложения.

На основе результатов анализа частных корреляций и с учетом выявленных эффектов мультиколлинеарности была построена множественная линейная регрессионная модель, включающая факторы, оказывающие наиболее устойчивое прямое влияние на индекс массы тела. Спецификация модели имеет следующий вид (3).

$$\text{BMI} = 18,543 + 0,158 * \text{age} + 1,381 * \text{gend} - 2,508 * \text{frame_small} + 4,747 * \text{frame_large} + e, \quad (3)$$

Все коэффициенты модели статистически значимы на уровне $\alpha = 0,05$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,464$ указывает на то, что включенные в модель факторы объясняют 46,4% вариации индекса массы тела, что является приемлемым результатом для социально-экономических и медико-биологических исследований. Скорректированный коэффициент детерминации ($R^2 = 0,453$) учитывает количество факторов в модели и подтверждает ее адекватность.

Значение F-статистики (42,12) свидетельствует о статистической значимости модели в целом, то есть совокупное влияние включенных факторов на зависимую переменную является существенным.

Заключение. Построенная многофакторная эконометрическая модель ИМТ как индикатора качества человеческого капитала включает статистически значимые факторы возраста, пола и типов телосложения. При этом полученные результаты подтверждают, что при мониторинге качества человеческого капитала необходимо учитывать не только базовые антропометрические характеристики, но и опосредованное влияние поведенческих и психоэмоциональных факторов. Однако возможно наличие скрытой мультиколлинеарности, что не делает модель полностью свободной от эффектов взаимосвязи между переменными. Анализ парных и частных корреляций позволил выявить неоднородность влияния различных факторов на ИМТ: наибольшим прямым воздействием обладают возраст, пол и тип телосложения, тогда как поведенческие факторы (физическая активность, питание, сон) демонстрируют опосредованный характер влияния, что подтверждается снижением частных корреляций относительно парных. Выявленные эффекты подавления для переменных роста и физической активности указывают на наличие сложных взаимосвязей между факторами, формирующими массу тела. В связи с этим дальнейшие исследования целесообразно направить на расширение спецификации модели за счет включения дополнительных социально-экономических факторов, а также применение нелинейных методов оценивания, позволяющих более точно учесть структурные взаимосвязи между поведенческими, психоэмоциональными и конституциональными характеристиками индивида.

Список использованных источников:

1. Человеческий капитал как важнейший фактор социально-экономического роста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/chelovecheskiy-kapital-kak-vazhneyshiy-faktor-sotsialno-ekonomicheskogo-rosta?ysclid=mn2whdla9f77906642> – Дата доступа: 23.03.2026.

2. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sdgs.by/wp-content/uploads/2023/11/n1529192.pdf?ysclid=mn2wtbrvea918533765> – Дата доступа: 23.03.2026.
3. Система глобальных показателей достижения целей в области устойчивого развития и выполнения задач Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global-Indicator-Framework-after-2024-refinement-Russian.pdf> – Дата доступа: 23.03.2026.
4. Ожирение и избыточная масса тела [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight?ysclid=mn2xb7b16z941982115> – Дата доступа: 23.03.2026.
5. Национальная стратегия устойчивого развития республики беларусь до 2035 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObzugaemNPA/NSUR-2035-1.pdf> – Дата доступа: 23.03.2026.
6. Индекс массы тела и другие антропометрические показатели физического статуса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/indeks-massy-tela-i-drugie-antropometricheskie-pokazateli-fizicheskogo-statusa-s-uchetom-vozrasta-i-individualnotipologicheskikh/viewer> – Дата доступа: 23.03.2026.
7. Динамика индекса массы тела российских мужчин и женщин: возраст–период–когорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://publications.hse.ru/pubs/share/direct/476754294.pdf?ysclid=mn31aju9wd776179033> – Дата доступа: 23.03.2026.
8. Хацкевич, Г. А. Эконометрика: учебник / Г. А. Хацкевич, Т. В. Русилко. – Минск: РИВШ, 2021. – 452 с.

UDC 004:330.43:616-071.3

MULTIFACTOR ECONOMETRIC MODELING OF BODY MASS INDEX AS AN INDICATOR OF HUMAN CAPITAL QUALITY IN THE CONTEXT OF THE SDGS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Shelepova V.A., student gr. 372301

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus*

*Khatskevich G. A. – Doctor of Economic Sciences, Candidate of Technical
Sciences, Professor*

Abstract. The article discusses the construction of a multifactor econometric model of body mass index as an indicator of human capital quality in the context of the Sustainable Development Goals of the Republic of Belarus. Based on the analysis of pairwise and partial correlations, the factors with the most stable influence on BMI are identified. The constructed regression model includes age, gender and body type. The necessity of taking into account the indirect influence of behavioral and psycho-emotional factors in monitoring the quality of human capital is substantiated.

Keywords. Body mass index, human capital, Sustainable Development Goals, econometric modeling, multiple regression, partial correlations, multicollinearity, Republic of Belarus.