

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

**International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science**

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2024 Issue: 02 Volume: 130

Published: 03.02.2024 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Yusufzhan Shadimetovich Shadimetov

Tashkent State Transport University
Doctor of Philological Sciences, Professor
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Dmitriy Alekseyevich Ayrapetov

Tashkent State Transport University
assistant
Republic of Uzbekistan, Tashkent
ayrapetov92@mail.ru

Xoshimjon Pardayevich Niyazov

Tashkent State Transport University
assistant
Republic of Uzbekistan, Tashkent

AIR POLLUTION BY ROAD TRANSPORT IN TASHKENT

Abstract: The article is devoted to the problem of atmospheric air pollution using the example of Tashkent. The priority substances that pollute the city's air and their impact on public health are identified.

Calculations of the content of pollutants in the air were carried out and criteria for the formation of dangerous concentrations (smog) near highways were determined. The main parameters of the influence of natural and anthropogenic factors on the level of atmospheric pollution have been identified. The article presents the results of studies of the state of atmospheric air for the content of fine suspended particles PM10 and general dust, as well as other pollutants, conducted in the city of Tashkent. Recommendations are given to reduce air pollution.

Key words: atmospheric air, atmospheric pollution, emissions of harmful substances, road transport, environmental pollution, atmosphere, dust, PM10.

Language: Russian

Citation: Shadimetov, Yu. Sh., Ayrapetov, D. A., & Niyazov, X. P. (2024). Air pollution by road transport in Tashkent. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 02 (130), 1-9.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-02-130-1> **Doi:** <https://dx.doi.org/10.15863/TAS>

Scopus ASCC: 2303.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ В ГОРОДЕ ТАШКЕНТЕ

Аннотация: Статья посвящена проблеме загрязнения атмосферного воздуха на примере г. Ташкента. Выделены приоритетные вещества, загрязняющие воздушный бассейн города и влияние их на здоровье населения.

Проведены расчеты содержаний загрязняющих веществ в воздухе и определены критерии формирования опасных концентраций (смог) вблизи автомагистралей. Выявлены основные параметры влияния природных и антропогенных факторов на уровень загрязнения атмосферы. В статье приведены результаты исследований состояния атмосферного воздуха на содержание в нём мелкодисперсныхзвешенных частиц PM10 и общей пыли, а также других загрязняющих веществ, проведённых в городе Ташкенте. Даны рекомендации для снижения загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязнение атмосферы, выбросы вредных веществ, автомобильный транспорт, загрязнение окружающей среды, атмосфера, пыль, PM10.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИНЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Введение

Проблема загрязнения воздуха в городах представляет собой сложный набор аспектов. Она затрагивает вопросы, связанные с заболеваемостью населения, негативным воздействием на флору и фауну, а также общей ухудшающейся экологической обстановкой в городских районах.

Под термином "загрязнение атмосферного воздуха" понимается любое изменение его состава и характеристик, которое оказывает негативное воздействие на здоровье людей и животных, а также влияет на состояние растений и экосистем [1].

Загрязнение атмосферного воздуха имеет разнообразное происхождение, подразделяясь на естественное и антропогенное [2]. Естественное загрязнение связано с природными процессами, такими как вулканическая деятельность и выветривание горных пород. В свою очередь, антропогенное загрязнение обусловлено воздействием человека и включает выбросы разнообразных загрязняющих веществ. Важно отметить, что масштаб антропогенного загрязнения существенно превышает естественные процессы. Антропогенное загрязнение может проявляться в различных формах: местном, региональном и глобальном. Местное загрязнение характеризуется повышенным содержанием вредных веществ на ограниченной территории, например, в городе. Региональное загрязнение охватывает более обширные пространства, но не имеет глобального воздействия. Глобальное загрязнение связано с общим изменением состава атмосферного воздуха, вызывая экологические изменения на планетарном уровне [3].

Человеческий организм постоянно подвергается воздействию разнообразных вредных факторов, происходящих из окружающей среды. Взаимосвязь между заболеваемостью и смертностью с состоянием экологии длительное время наблюдается, особенно в индустриальных городах [4,5].

Согласно результатам медико-экологических исследований, загрязнение окружающей среды представляет опасность для здоровья человека. Это подтверждается:

- частыми жалобами жителей, проживающих в зоне загрязненной окружающей среды, на неприятные запахи, головные боли, общее недомогание и другие негативные состояния;
- данными медицинской статистики, указывающими на увеличение заболеваемости на территориях с высоким уровнем загрязнения;
- результатами специальных научных исследований, направленных на выявление

количественных связей между загрязнением окружающей среды и его воздействием на организм [6]. Следовательно, оценка загрязнения атмосферного воздуха и его влияния на здоровье становится одной из ключевых проблем.

Автомобильный транспорт выступает как значительный источник выбросов вредных веществ в атмосферу. Резкое ухудшение экологической обстановки в крупных городах, связанное с увеличением интенсивности движения и формированием специфических климатических условий, делает неотложной задачу разработки технологии оценки загрязнения атмосферы и его динамики. Доля вклада автомобильного транспорта в загрязнение атмосферы продолжает расти, особенно в крупных городах, где она составляет 80% и более [7,8].

К основным токсичным выбросам автомобилей относятся: отработавшие газы, картерные газы и топливные испарения. Выпуски отработавших газов, выбрасываемых двигателем, включают оксид углерода (CO), углеводороды, оксиды азота, бензапирен, альдегиды и сажу. Сажа, оксид углерода, углеводороды и альдегиды являются основными токсичными веществами, образующимися в результате неполного сгорания [9,10].

Технология оценки загрязнения атмосферы автомобильным транспортом основана на совместном анализе интенсивности выбросов выхлопных газов и характеристик их перемешивания с чистым воздухом. Интенсивность выбросов зависит от трафика, в то время как активность перемешивания определяется скоростью и направлением ветра [11].

Среди факторов, влияющих на выбросы, можно выделить: общее количество автомобилей, типы и возраст автомобилей в регионе, долю автомобилей различных экологических классов, количество грузовых автомобилей, состояние и ширину дорог, качество топлива, его соответствие экологическим стандартам Евро и другие [12,13]. Значительное воздействие на формирование опасного загрязнения атмосферы оказывает плотность застройки вдоль автомагистралей.

Несмотря на постепенное обновление автопарка автомобилями более экологически чистых 4-го и 5-го классов, доля автотранспорта с низкой экологической эффективностью 0-го класса остается высокой.

Исследования состояния атмосферного воздуха на содержание в нём мелкодисперсных взвешенных частиц PM10 и общей пыли [14], а также других загрязняющих веществ (диоксид азота, диоксид серы, сероводород, оксид углерода, аммиак, фенол) были проведены 13 сентября 2023

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИНЦ (Russia)	= 3.939	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.771	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

года специалистами, Министерство Экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан Ташкентская городская управлении. Отдел мониторинга, изменение климата и борьба с опустыниванием окружающей среды (аналитическая лаборатории). Наблюдения проводились с помощью прибора (Эколаб) экологической лаборатории.

Результаты проведённых исследований представлены в таблице № 1. Оценка состояния атмосферного воздуха осуществлялась в соответствии с СанПиНом РУз №0293-11 «Гигиенические нормативы. Перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест на территории Республики Узбекистан».

Таблица №1

№ п/п	Место отбора, координаты	Время отбора	Наименование ингредиента	Температура °C	Давление, мм.рт.ст.	Максимально разовая концентрация загрязняющего вещества, мг/м³	ПДКм.р мг/м³	Превышение ПДКм.р.
1	Точка №1 Координаты N41.263207, E 69.222420 (Чиланзарский р-н.) перекресток Малая кольцевая дорог	12 ⁴⁰	PM10	30	725	0,0063	0,5	
			Пыль			0,0091	0,5	
			Диоксид азота			0,01	0,085	
			Оксид углерода			7,0826	5	1,4
			Диоксид серы			0	0,5	
			Аммиак			0,0032	0,2	
			Фенол			0	0,01	
			Фтористый водород			0	0,02	
			Сероводород			0,0046	0,008	
2	Точка №2 координаты N41.263335, E 69.222527 (Чиланзарский Р-н.) перекресток Малая кольцевая дорога и прилегающая территория	12 ⁴⁵	PM10	30	725	0,0063	0,5	
			Пыль			0,0091	0,5	
			Диоксид азота			0,0098	0,085	
			Оксид углерода			6,1040	5	1,2
			Диоксид серы			0	0,5	
			Аммиак			0,0028	0,2	
			Фенол			0	0,01	
			Фтористый водород			0	0,02	
			Сероводород			0,0045	0,008	
3	Точка №3 координаты N41.270025, E 69.211592 (Чиланзарский Р-н.) перекресток Малая кольцевая дорога	12 ⁵⁰	PM10	31	725	0,003	0,5	
			Пыль			0,0032	0,5	
			Диоксид азота			0,0078	0,085	
			Оксид углерода			2,0813	5	-
			Диоксид серы			0	0,5	
			Аммиак			0,0067	0,2	
			Фенол			0	0,01	
			Фтористый водород			0	0,02	
			Сероводород			0,0038	0,008	
4	Точка №4 координаты	12 ⁵⁵	PM10	32	724	0,001	0,5	
			Пыль			0,001	0,5	

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИНЦ (Russia)	= 3.939	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.771	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

4	N41.269344, E 69.212323 (Чиланзарский Р-н.) перекресток Малая кольцевая дорога и прилегающая территория	Диоксид азота			0,0024	0,085	
		Оксид углерода			2,1290	5	
		Диоксид серы			0	0,5	
		Аммиак			0,0005	0,2	
		Фенол			0	0,01	
		Фтористый водород			0	0,02	
		Сероводород			0,0034	0,008	
5	Точка №5 координаты N41.288391, E 69.229625 (Чиланзарский Р-н.) перекресток Малая кольцевая дорога и прилегающая территория	13 ⁰⁰	PM10	32	724	0,0009	0,5
			Пыль			0,0011	0,5
			Диоксид азота			0,0028	0,085
			Оксид углерода			1,2564	5
			Диоксид серы			0	0,5
			Аммиак			0,001	0,2
			Фенол			0	0,01
			Фтористый водород			0	0,02
			Сероводород			0,0038	0,008
6	Точка №6 координаты N41.288352, E 69.229187 (Чиланзарский Р-н.) перекресток ул.Мукимий	13 ⁰⁵	PM10	32	724	0,003	0,5
			Пыль			0,003	0,5
			Диоксид азота			0,0022	0,085
			Оксид углерода			1,7548	5
			Диоксид серы			0	0,5
			Аммиак			0	0,2
			Фенол			0	0,01
			Фтористый водород			0	0,02
			Сероводород			0,0036	0,008
7	Точка №7 координаты N41.288282, E 69.228998 (Чиланзарский Р-н.) перекресток ул.Мукимий и прилегающая территория	13 ¹⁰	PM10	32	724	0,005	0,5
			Пыль			0,0062	0,5
			Диоксид азота			0,0031	0,085
			Оксид углерода			1,2780	5
			Диоксид серы			0	0,5
			Аммиак			0	0,2
			Фенол			0	0,01
			Фтористый водород			0	0,02
			Сероводород			0,0032	0,008
8	Точка №8 координаты N41.291013, E 69.225322 (Чиланзарский Р-н.)	13 ¹⁵	PM10	33	723	0,0054	0,5
			Пыль			0,0065	0,5
			Диоксид азота			0,0046	0,085
			Оксид углерода			1,2160	5

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИНЦ (Russia)	= 3.939	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.771	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

перекресток ул.Мукимий и прилегающая территория	Диоксид серы			0	0,5	
	Аммиак			0,0022	0,2	
	Фенол			0	0,01	
	Фтористый водород			0	0,02	
	Сероводород			0,0038	0,008	
9 Точка №9 координаты N41.296315, E 69.216591 (Чиланзарский Р-н.) перекресток ул.Мукимий Спорт товары	13 ²⁰	PM10	33	723	0,0066	0,5
		Пыль			0,007	0,5
		Диоксид азота			0,0048	0,085
		Оксид углерода			3,3403	5
		Диоксид серы			0	0,5
		Аммиак			0,0021	0,2
		Фенол			0	0,01
		Фтористый водород			0	0,02
		Сероводород			0,0043	0,008
10 Точка №10 координаты N41.296396, E 69.216792 (Чиланзарский Р-н.) перекресток ул.Мукимий Спорт товары и прилегающая территория	13 ²⁵	PM10	34	723	0,0065	0,5
		Пыль			0,0072	0,5
		Диоксид азота			0,0073	0,085
		Оксид углерода			3,5890	5
		Диоксид серы			0	0,5
		Аммиак			0	0,2
		Фенол			0	0,01
		Фтористый водород			0	0,02
		Сероводород			0,0041	0,008
11 Точка №11 координаты N41.327935 E 69.283311 (Юнусабадский р-н,) А.Темура Метро Минор	13 ⁵⁰	PM10	36	724	0,004	0,5
		Пыль			0,0047	0,5
		Диоксид азота			0,0254	0,085
		Оксид углерода			2,3101	5
		Диоксид серы			0	0,5
		Аммиак			0,0005	0,2
		Фенол			0	0,01
		Фтористый водород			0	0,02
		Сероводород			0,0043	0,008
12 Точка №12 координаты N41.328314, E 69.283546 (Юнусабадский Р-н,) ул. А.Темура и прилегающая территория	13 ⁵³	PM10	36	723	0,004	0,5
		Пыль			0,0047	0,5
		Диоксид азота			0,0211	0,085
		Оксид углерода			1,3620	5
		Диоксид серы			0	0,5
		Аммиак			0,0007	0,2
		Фенол			0	0,01
		Фтористый			0	0,02

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИНЦ (Russia)	= 3.939	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.771	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

			водород				
			Сероводород		0,0044	0,008	
13	Точка №13 координаты N41.334836, E 69.284875 (Юнусабадский р-н,) ул. А.Темура и прилегающая территория Radisson Blu Hotel	13 ⁵⁵	PM10	36	723	0,004	0,5
			Пыль			0,004	0,5
			Диоксид азота			0,0059	0,085
			Оксид углерода			1,4560	5
			Диоксид серы			0	0,5
			Аммиак			0,0003	0,2
			Фенол			0	0,01
			Фтористый водород			0	0,02
			Сероводород			0,0048	0,008
14	Точка №14 координаты N41.334836, E 69.284875 (Юнусабадский р-н,) ул. А.Темура	14 ⁰⁰	PM10	35	723	0,0041	0,5
			Пыль			0,0047	0,5
			Диоксид азота			0,0954	0,085
			Оксид углерода			2,4567	5
			Диоксид серы			0	0,5
			Аммиак			0,001	0,2
			Фенол			0	0,01
			Фтористый водород			0	0,02
			Сероводород			0,0056	0,008
15	Точка №15 координаты N41.334836, E 69.284875 (Юнусабадский р-н,) ул. А.Темура и прилегающая территория	14 ⁰⁵	PM10	35	723	0,0044	0,5
			Пыль			0,0047	0,5
			Диоксид азота			0,0792	0,085
			Оксид углерода			2,9430	5
			Диоксид серы			0	0,5
			Аммиак			0,001	0,2
			Фенол			0	0,01
			Фтористый водород			0	0,02
			Сероводород			0,0058	0,008
16	Точка №16 координаты N41.280825, E 69.328483 (Яшнободский р-н,) ул. М.Ашрафи	15 ¹⁰	PM10	38	722	0,0061	0,5
			Пыль			0,0062	0,5
			Диоксид азота			0,0166	0,085
			Оксид углерода			0,9941	5
			Диоксид серы			0	0,5
			Аммиак			0,0248	0,2
			Фенол			0	0,01
			Фтористый водород			0	0,02
			Сероводород			0,0054	0,008
17	Точка №17 координаты	15 ¹⁵	PM10	38	722	0,0066	0,5
			Пыль			0,0068	0,5

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИНЦ (Russia)	= 3.939	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.771	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

N41.393773, E 69.227246 (Яшнободский р-н,) ул. М.Ашрафи		Диоксид азота		0,0162	0,085	
		Оксид углерода		2,0140	5	
		Диоксид серы		0	0,5	
		Аммиак		0	0,2	
		Фенол		0	0,01	
		Фтористый водород		0	0,02	
		Сероводород		0,0072	0,008	
18 Точка №18 координаты N41.273782 E 69.312402 (Яшнободский р-н,) ул. М.Ашрафи	15 ²⁰	PM10	38	722	0,0038	0,5
		Пыль			0,0046	0,5
		Диоксид азота			0,0110	0,085
		Оксид углерода			2,0141	5
		Диоксид серы			0	0,5
		Аммиак			0	0,2
		Фенол			0	0,01
		Фтористый водород			0	0,02
		Сероводород			0,0071	0,008
19 Точка №19 координаты N41.270626, E 69.302735 (Мирабадский р-н,) ул. А.Фитрат	15 ²⁵	PM10	36	722	0,0035	0,5
		Пыль			0,0036	0,5
		Диоксид азота			0,0162	0,085
		Оксид углерода			1,6980	5
		Диоксид серы			0	0,5
		Аммиак			0	0,2
		Фенол			0	0,01
		Фтористый водород			0	0,02
		Сероводород			0,0054	0,008
20 Точка №20 координаты N41.271880, E 69.279452 (Мирабадский Р-н,) ул. А.Фитрат	15 ³⁰	PM10	36	722	0,003	0,5
		Пыль			0,0033	0,5
		Диоксид азота			0,0154	0,085
		Оксид углерода			1,0893	5
		Диоксид серы			0	0,5
		Аммиак			0	0,2
		Фенол			0	0,01
		Фтористый водород			0	0,02
		Сероводород			0,0066	0,008
21 Точка №21 координаты N41.272033, E 69.279162 (Мирабадский	15 ³⁵	PM10	35	721	0,0036	0,5
		Пыль			0,0041	0,5
		Диоксид азота			0,0254	0,085
		Оксид углерода			1,5122	5

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

Р-н.) ул. А.Фитрат	Диоксид серы			0	0,5	
	Аммиак			0	0,2	
	Фенол			0	0,01	
	Фтористый водород			0	0,02	
	Сероводород			0,0076	0,008	

ПДКм.р. - предельно-допустимая концентрация, максимально разовая.

Результаты проведённых исследований состояния атмосферного воздуха на территории г.Ташкента, показали превышения установленных нормативов предельно допустимой максимально-разовой концентрации (**ПДКм.р.**) по следующим загрязняющим веществам:

- оксид углерода в точке наблюдения №1 в 1,4 раза,
- оксид углерода в точке наблюдения №2 в 1,2 раза.
- диоксид азота в точке наблюдения №14 в 1,2 раза.

Для снижения загрязнения атмосферного воздуха предлагается реализовать следующие мероприятия: перемещение групповых котельных из жилых зон, обеспечение качественного и своевременного технического обслуживания автомобилей, включая те, что находятся в личном пользовании. Также рекомендуется создание санитарно-защитных зон вокруг промышленных предприятий, размеры которых определяются на основе расчетов рассеивания выбросов вредных веществ в атмосферу и согласно санитарной классификации организаций [15]. Необходимо также внедрить систему регулирования выбросов в атмосферу в периоды неблагоприятных метеорологических условий.

Анализ литературных источников показал, что город Ташкент характеризуется высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха и значительной концентрацией выбросов на каждого жителя ежегодно, что делает данную проблему особенно актуальной [16,17].

В результате проведенных вычислений было подтверждено, что концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе превышает установленные среднесуточные предельно допустимые значения в течение значительного времени по многим веществам.

Основными направлениями деятельности в области защиты атмосферы от выбросов автотранспорта включают:

- расширение производства автомобилей, оснащенных высокоэффективными и малотоксичными двигателями, включая дальнейшую дизелизацию автопарка, а также переход на альтернативные источники энергии;
- разработка и внедрение эффективных систем нейтрализации отработанных газов, в том числе и введение антидымных присадок [18];
- снижение токсичности моторных топлив;
- улучшение организации дорожного движения в городах и совершенствование инфраструктуры дорог с целью обеспечения бесперебойного движения на автомагистралях.

References:

1. Ivashhenceva, A. Ju. (2017). *Problemy zagrjaznenija atmosfernogo vozduha v gorode Omske*. Bezopasnost` gorodskoj sredy : materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Omsk, 16-18 nojabrja 2016 goda. (pp.57-59). Omsk: Omskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet.
2. Shadimetov, Jy.Sh., & Ajrapetov, D.A. (2022). *Transport, jekologija i zdorov`e: monogr.* (p.269). Tashkent.
3. Davydova, I.S., & Gaponenko, A.V. (2017). Problema zagrjaznenija atmosfernogo vozduha v gorodah. *Sciences of Europe*. 2017. №14-2 (14). Retrieved 22.12.2023 from <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-zagrjazneniya-atmosfernogo-vozduha-v-gorodah>
4. Vologzhina, S.Zh., Hanaev, V.H., & Bykov, D.V. (2012). Zagrjaznenie atmosfernogo vozduha g. Shelehova. *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*. Serija: Nauki o Zemle. 2012. №. Retrieved 22.12.2023 from <https://cyberleninka.ru/article/n/zagrjaznenie-atmosfernogo-vozduha-g-shelehova>
5. Shadimetov, Yu. Sh., & Ayrapetov, D. A. (2023). Environmental policy: experience of the European Union. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 05 (121), 118-121.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИНЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

6. Baryshnikov, I. I., & Musij-chuk, Jy. I. (1992). *Zdorov`e cheloveka / Mediko-geograficheskie aspekty ocenki urovnja zdorov`ja naselenija i sostojanija okruzhaushhej sredy.* (pp.11-36). SPb.
7. Kargapolov, N.V., & Rafailova, A.L. (2018). *Dinamika zagrjaznenija atmosfernogo vozduha u peresechenija Moskovskoj kol`cevoj avtomobil`noj dorogi (MKAD) i Kashirskogo shosse.* Komp`uternye, prikladnye i inzhenernye innovacii i modernizacija otrraslej promyshlennosti: sbornik nauchnyh trudov po materialam I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 20 sentyabrya 2018 g., (pp.19-22). Sankt-Peterburg: Professional`naja nauka.
8. Shadimetov, Jy.Sh., & Ajrapetov, D.A. (2022). Povyshenie jekologicheskoy bezopasnosti transportnyh potokov (na primere goroda Tashkenta). *Evraziskij Souz Uchenyh. Serija: mezhdisciplinarnye nauki.* #7(100), pp. 4-8.
9. (2018). *Zagrjaznenie atmosfernogo vozduha avtomobil`nym transportom /* G. T. Dzhumalieva, L. Jy. Timovkina, A. A. Romanova [i dr.]. Geograficheskie nauki i obrazovanie: Materialy XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Astrahan`, 23 marta 2018 goda / Sostavitel V.V. Zanozin, (pp.144-147). Astrahan`: Federal`noe gosudarstvennoe budzhetnoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vysshego professional`nogo obrazovaniya "Astrahanskij gosudarstvennyj universitet", EDN UWPQHO.
10. Shadimetov, Jy.Sh., & Ajrapetov, D.A. (2022). Jekologicheskaja bezopasnost` mezhdunarodnyh transportnyh koridorov. *Naukosfera.* №11 (1), pp.84-89.
11. Kargapolov, N.V. (2010). *Geohimicheskaja jekologicheskaja funkcija atmosfery gorodov. Geografija: problemy nauki i obrazovanija: LXIII Gercenovskie chtenija.* Materialy ezhegodnoj Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii 22-24 aprelja 2010 g., (pp.30-32). Sankt-Peterburg.
12. Kargapolov, N. V. (2019). Tehnologija ocenki zagrjaznenija atmosfernogo vozduha avtomobil`nym transportom. *Evrazijskoe Nauchnoe Ob#edinenie,* 2019, № 10-4(56), pp. 351-356, EDN RCAYTS.
13. Shadimetov, Jy.Sh., & Ajrapetov, D.A. (2023). «Zelenaja» jenergetika: opyt zarubezhnyh stran, problemy i perspektivy. «Yashil» energetikani amaliyotga tatbiq etish: yutuqlar va muammolar» mavzusida respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi materiallari to`plami 2023 - 247-253 V.
14. Shadimetov, Jy.Sh., & Ajrapetov, D.A. (2023). Gorodskaja pyl': problemy i puti reshenija (na primere g. Tashkent). *Naukosfera.* №3 (2), 2023 pp.92-97.
15. Stolbun, O.A., Savlukova, O.I., & Kotjar, E.V. (2012). O zagrjaznenii atmosfernogo vozduha v Ussurijske. *Zdorov`e. Medicinskaja jekologija. Nauka.* 2012. №3-4. <https://cyberleninka.ru/article/n/o-zagryaznenii-atmosfernogo-vozduha-v-ussuriyske>
16. Shadimetov, Jy.Sh., & Ajrapetov, D.A. (2023). Vlijanie promyshlennosti na okruzhaushhuu sredu i zdorov`e naselenija. *Naukosfera.* №4 (2), 2023, pp.76-81.
17. Shadimetov, Jy.Sh., & Ajrapetov, D.A. (2023). Aktual`nye problemy ohrany atmosfernogo vozduha. “Atrof-muhit muhofazasi va ekologik rayonlashtirish: muammo va yechimlar” mavzuida xalqaro ilmiy-amaliy anjuman 2023 - 258-266 V.
18. Barhanadzhjan, A.L. Hakimov, R.M., Zhumanijazova, R.H., Abdurakimova, G.O., & Ajrapetov, D.A. (2019). *Snizhenie toksichnosti otrabotavshih gazov dizel`nyh avtomobilej.* Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii 21-23 nojabrja 2019, pp.60-63.

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

**International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science**

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2024 Issue: 02 Volume: 130

Published: 05.02.2024 <http://T-Science.org>

Issue



Article



Annaguly Rejepovich Deryaev
 Scientific Research Institute of Natural Gas of the State Concern „Turkmengas”
 Doctor of Technical Sciences, Principal researcher,
 Academician of International Academy of Theoretical and Applied Sciences,
 Ashgabat, Turkmenistan
annagulyderyayew@gmail.com

ISOLATION OF CARBONATE RESERVOIRS AND ASSESSMENT OF THEIR CAPACITIVE PROPERTIES BY ACOUSTIC AND NEURAL GAMMA LOGGING

Abstract: the article summarizes the results of experimental and methodological work carried out over a number of years of geophysical research, describes methods for determining porosity by acoustic, neural gamma logging; extreme values of gamma and neutron gamma logging, as well as methods for isolating and evaluating reservoirs of complex structure. These techniques and methods of interpretation are intended for the study of carbonate deposits of the Jurassic and Cretaceous deposits of Turkmenistan and are recommended for testing in all geophysical organizations conducting research on complex carbonate reservoirs.

Prospecting and exploration for oil and gas in Turkmenistan is mainly associated with Mesozoic sediments lying at depths up to 5000 m or more, represented by both terrigenous and carbonate rocks. These deposits are exposed in difficult geological and technical conditions; the reservoir is predominantly of complex structure, which makes it difficult to isolate them due to the poor knowledge of geophysical dependencies and petrophysical security of geophysical dependencies.

Key words: mineral, porosity, core, reservoir, clay crust, parameter, diagram, logging, wave, formation.

Language: English

Citation: Deryaev, A. R. (2024). Isolation of carbonate reservoirs and assessment of their capacitive properties by acoustic and neural gamma logging. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 02 (130), 10-16.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-02-130-2> **Doi:** <https://dx.doi.org/10.15863/TAS>

Scopus ASCC: 2209.

Introduction

On the territory of Turkmenistan, carbonate deposits have a widespread distribution and stratigraphically belong to the Upper Jurassic and Lower Cretaceous ages. A large range of depth variations, clay content varying in section and area, complex tectonic and thermobaric conditions, and heterogeneous mineral composition led to the development of reservoirs of various types: pore, pore-fractured, pore-cavernous or pore-fractured-cavernous with a predominance of one or another type of porosity, which are established by geophysical data [1, 2].

Analysis of the geophysical characteristics of the tested objects showed that in most cases these are reservoirs with a predominance of intergranular

porosity exceeding 5-6% and only in some cases the porosity coefficient is 3.5-5% (Fig.1).

The established boundary values of the geophysical parameters ΔJ_{ny} and ΔJ_{γ} (double difference parameters of neutron-gamma logging (NGL) and gamma logging (GL), respectively) are 0.75 and 0.35. A comparison of the core analysis data (K_p , K_{per}) also indicates the validity of the above data (Fig. 2) [3, 4, 5].

In the carbonate deposits of the Central and Western part of Turkmenistan, reservoirs are mainly represented by low-power boards (1-3 m). The proportion of reservoirs with a capacity of 4 m or more is an insignificant part, therefore, lateral electrical sounding is extremely rarely used to isolate reservoirs [6].

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

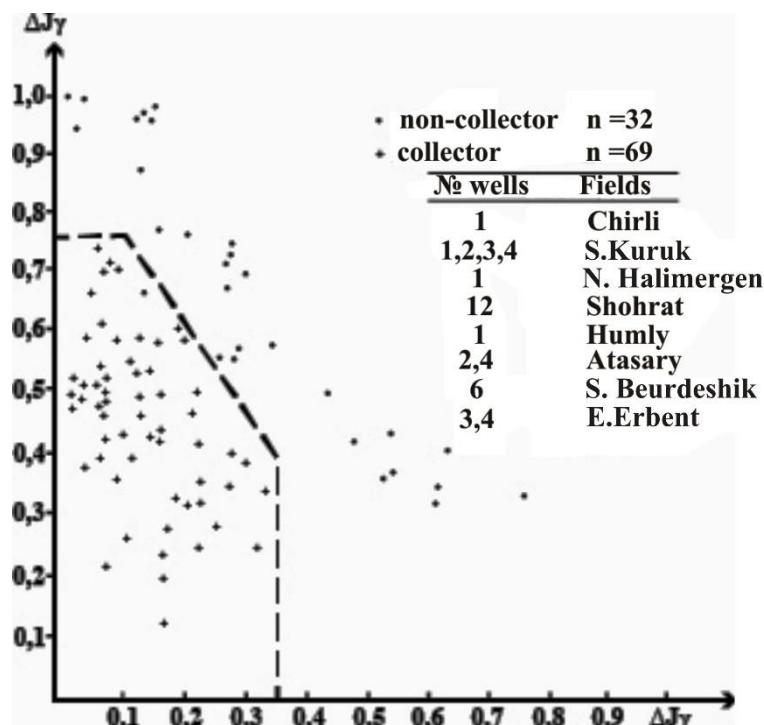


Fig.1. Determination of the boundary ΔJ_{ny} and ΔJ_y for the separation of carbonate rocks of the Mesozoic of the Central part of Turkmenistan into reservoirs and non-reservoirs according to tested objects.

The main signs of pore-type reservoirs are the presence of negative PS (spontaneous polarization) anomalies, low values and increments of AR (apparent resistivity) in microcarotage diagrams, a

decrease in the diameter of the well due to the formation of a clay crust [7-10].

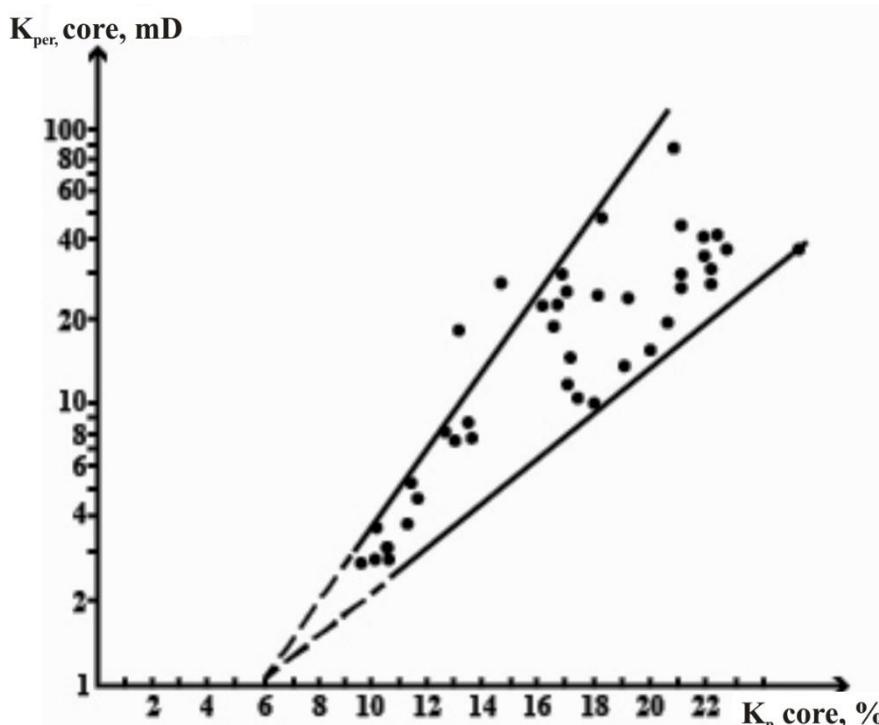


Fig. 2. Comparison of the open porosity of the K_p and the permeability of the K_{per} of carbonate rocks of the productive horizons of the Beurdeshik field

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582
GIF (Australia)	= 0.564
JIF	= 1.500

SIS (USA)	= 0.912
РИНЦ (Russia)	= 3.939
ESJI (KZ)	= 8.771
SJIF (Morocco)	= 7.184

ICV (Poland)	= 6.630
PIF (India)	= 1.940
IBI (India)	= 4.260
OAJI (USA)	= 0.350

However, with a decrease in reservoir capacity, the efficiency of reservoir allocation according to the listed criteria also decreases. In these cases, as well as to isolate collectors of complex structure, temporary measurements of electrical logging, simultaneous studies with devices having different radial characteristics (MLL-LL), and mechanical logging data are used [11, 12].

Determination of porosity by acoustic logging. The average time equation has become the most widespread in the practice of field and geophysical research to determine porosity

$$K^{AL}_P = \frac{\Delta T = \Delta T_{sk}}{\Delta_{liq} = \Delta T_{sk}} \quad (1)$$

Its application presupposes knowledge of three values; the interval time of the longitudinal wave in the studied formation - ΔT , the time in the mineral skeleton of the rock - ΔT_{sk} and in the liquid filling the rock vapor in the research area AL - ΔT_{liq} . However, it should be borne in mind that the above equation is not a functional, but an approximate empirical dependence $V_p=f(K_p)$, and the closest to the actual values of porosity are obtained with the correct choice of the initial values ΔT_{sk} and ΔT_{liq} .

For pure monomineral rocks, the values of ΔT_{sk} are well maintained for various oil and gas bearing regions of the globe. For the studied deposits of the Lower Cretaceous and Jurassic (dolomites, limestones, anhydrides, sandstones), a comparison of ρ_{LL}^4 and ΔT was performed. The values of ΔT , which practically correspond to the layers of dolomites, limestones, anhydrides, sandstones with zero porosity, are respectively 142 mcs/m, 155, 164, 172 mcs/m. It is recommended to use these values as ΔT_{sk} [13, 14, 15].

In the vast majority of cases, the radius of the acoustic logging probe is located within the penetration zone, where the pores of the rock are filled with a mixture of filtrate and reservoir fluid. The interval time depends on the mineralization of the mixture, pressure and temperature and can be calculated from the following ratios:

$$T_{liq} = [1410 + 1,21t = 0,037(t)^2 + 1,148 + 0,18P_k] J_x 10^6 \quad (2)$$

or

$$T_{liq} = [1557 - 0,0245(75 - t)2 + 0,80C_{liq} + 0,19P_{liq}] J_x 10^6 \quad (3)$$

where t - temperature of the mixture, °C; S - salinity of the mixture, %; R_{liq} - hydrostatic pressure, kg/cm²; C_{liq} - mineralization of the mixture, g/l.

In 1975, based on laboratory data, the dependences of ΔT_{liq} on pressure and temperature for fixed values of C_{liq} were constructed.

In 1979, according to formula (2), a complex pallet was calculated and constructed to determine ΔT_{liq} at a temperature change of up to 240 °C and a pressure of 650 kg/cm². The values of ΔT_{liq} determined by various methods for the geological and technical conditions of the studied deposits vary within the range of 590-610 mcs/m.

For practical purposes, when determining the K_p, it is recommended to use $\Delta T_{liq} = 600$ mcs/m, while the absolute error when changing the K_p from 2% to 9% increases from 0.05% to 0.2%; when changing the K_p from 9% to 22.5% - from 0.2% to 0.5%. In all cases, the relative error does not exceed 5%.

Determination of porosity by neutron gamma logging. In Turkmenistan, the technique of two support layers using a relative parameter has found the greatest application in determining porosity coefficients from neutron gamma γ -logging.

$$\Delta J_{ny} = \frac{J_{ny}^{lay.} - J_{ny}^{min}}{J_{ny}^{max} - J_{ny}^{min}} \quad (4)$$

where J_{ny} lay., J_{ny} min, J_{ny} max - NGL readings in the studied and support layers, respectively.

Knowing the value of the relative parameter ΔJ_{ny} according to the dependence $\Delta J_{ny}=f(K_p)$, it is defined as K^{AL}_P (Fig.3).

The support layers must comply with the following instructions. A limestone or dolomite formation with maximum NGL readings should be sufficiently powerful (h ≥ 3 m), non-clay, the porosity of which is assumed to be 1-3%. The specified range of changes in the porosity of the support layer introduces a significant error in determining the K^{NGL}_P, since in this case the range of changes in J_{ny} can reach one conventional unit. It should also be borne in mind that the studied carbonate deposits lie at considerable depths (3000-4500 m or more). The specific electrical resistances of formations with maximum NGL readings reach 1000 and more than 0mm, therefore, their porosity coefficients are significantly lower than 1%.

Clay layers, where the diameter of the well is eroded to 50 cm or more, should be used as support layers with minimal NGL readings [16, 17, 18]. The porosity of such layers is considered to be equivalent to 35-48%. There are practically no formations with such parameters in the studied sections. It is not uncommon for there to be no support layers at all in the intervals of the NGL study that meet the above requirements.

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИНЦ (Russia)	= 3.939	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.771	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

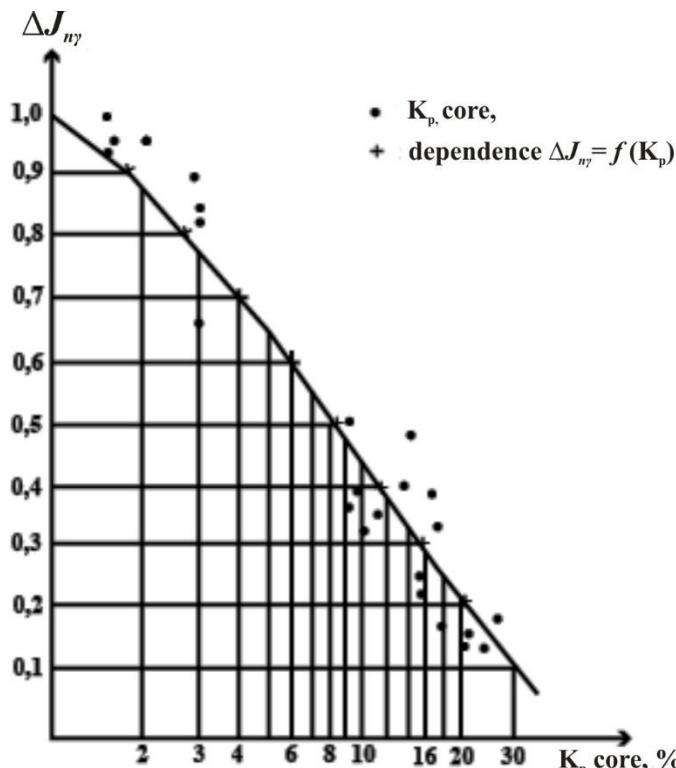


Fig. 3. Dependence of the relative parameter $\Delta J_{n\gamma}$ on the core porosity $K_{p,\text{core}}$

To increase the reliability of the results of quantitative interpretation of NGL materials, the following method is proposed for determining the extreme values of the support layers [19, 20]. The values or $P_{\text{нн}}$ of NGC for the studied formations are compared in a semi-logarithmic coordinate system (Fig. 4). For formations with granular porosity, numerous studies have established a relationship close to linear in such a coordinate system.

An averaging dependence line is drawn along the points characterizing non-clay formations with granular porosity, moreover, the position of the point

for a formation with $K_p = 48\%$ is determined by the coordinates $P_p=5+10$ and 1 conventional unit in the NGL diagram [21]. The correctness of the choice of this point is confirmed by the results of determining the values of the pairs $J_{n\gamma}$ and ω_{cl} ($K_p^{\text{proc.}}$) in clay layers in the range 2308-2320m, 2254-2260m, 2287-2290m, 20184-2020m (well.2-Dengli), which are characterized by the following parameters:

1. $d_c = 26 \text{ cm } J_{n\gamma} = 1,80 \text{ conv. un. } \omega_{\text{cl}} = 22 \text{ Pp} = 38$
2. $d_c = 26 \text{ cm } J_{n\gamma} = 1,66 \text{ conv. un. } \omega_{\text{cl}} = 26 \text{ Pp} = 26$
3. $d_c = 29 \text{ cm } J_{n\gamma} = 1,60 \text{ conv. un. } \omega_{\text{cl}} = 27 \text{ Pp} = 23$
4. $d_c = 43 \text{ cm } J_{n\gamma} = 1,40 \text{ conv. un. } \omega_{\text{cl}} = 37 \text{ Pp} = 10$

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИНЦ (Russia)	= 3.939	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.771	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

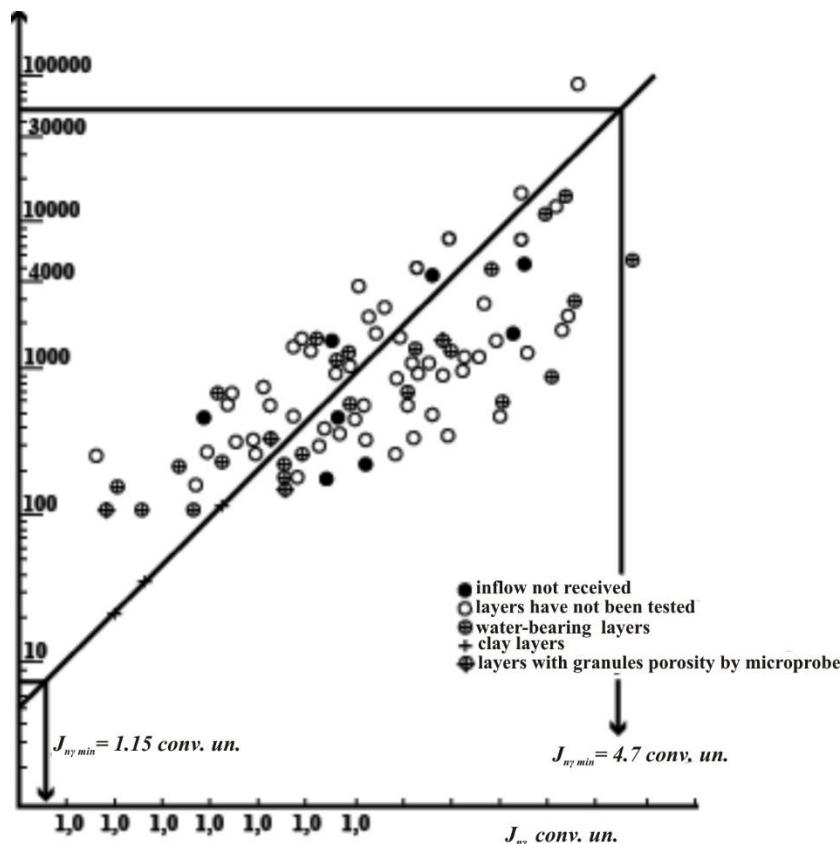


Fig. 4. Determination of the extreme values of NGL (well 2, Dengli square)

These strata, stratigraphically dated to the Aptian-Albian age, are regionally traced in the studied areas, and can be used for monitoring when conducting a line of granular rocks [22, 23]. In addition, limestone and dolomite layers with granular porosity, highlighted in microprobe diagrams, are used for this purpose.

We find the extreme values of NGL. To determine the position of a formation with a porosity of 1%, it is necessary to continue the line of granular rocks to the intersection with the ordinate – $P_{p.d.} = 60000$ ($K_p = 1\%$). Thus, we obtain the value of $J_{ny \max} = 4.70$ cont.units. The minimum value of $J_{ny \min}$, corresponding to $\omega_{cl.} = 40\%$, will be characterized by a relative resistance equal to 7.5, which through the

dependence $P_p = f(J_{ny})$ they are transferred to the abscissa axis (Fig. 4).

It will correspond to 1.15 conventional units on the scale of the diagram. Porosity is determined by the value of the relative parameter ΔJ_{ny} according to the dependence $\Delta J_{ny} = f(K_p)$ or by the porosity scale plotted directly on the diagram according to the known extreme values of NGL [24, 25].

The choice of extreme values of NGL according to the above methodology will provide a unified approach to the selection of support layers, eliminate subjectivity, which will lead to an increase in the reliability of the results of quantitative interpretation of materials.

References:

1. Deryaev, A.R. (2022). Zadachi issledovaniya dlya metoda odnovremennoj razdel'noj ekspluatacii mnogoplastovyh mestorozhdenij. *Innovacionnye nauchnye issledovaniya* №2-2 (16) – Ufa: Nauchno-izdatel'skij centr “Vestnik nauki”, pp. 43–51.
2. Deryaev, A.R. (2022). *Vskrytie produktivnyh gorizontov burovym rastvorom na uglevodorodnoj osnove dlya odnovremenno-*

- razdel'noj ekspluatacii.* Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Nauka v sovremenном obshchestve: zakonomernosti i tendencii razvitiya". (pp.35-39). Ufa: Izdatel'stvo OOO "Omega sajns".
3. (1979). *Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu issledovanij i interpretacii dannyh nejtronnogo karotazha s serijnoj apparaturoj RK.* M.: VNIIYAGG.
 4. (1982). *Interpretaciya rezul'tatov geofizicheskikh issledovanij razrezov skvazhin.* M.: Nedra.
 5. Latyshova, M. G. (1981). *Prakticheskoe rukovodstvo po interpretacii diagramm geofizicheskikh metodov issledovaniya skvazhin.* - M.: Nedra.
 6. Deryaev, A.R. (2022). *Sovremennoe sostoyanie izuchennosti burenija napravlennyh i mnogozabojnyh skvazhin s razdel'noj ekspluatacijei odnovremennym neskol'kimi gorizontami (zarubezhnyj opyt).* Sbornik statej mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa "Akademicheskaya nauka na sluzhbe obshchestva". (pp.170-178). Petrozavodsk: Nauchnoe izdanie: MCNP "Novaya nauka".
 7. (1972). *Metodicheskie rekomendacii po kolichestvennoj interpretacii dannyh karotazha.* - M.: VNII Geofizika.
 8. Basin, Ya.N., Kuharenko, N.K., & Tyukaev, Yu. V. (1968). *Metodika opredeleniya poristosti karbonatnyh plastov po dannym nejtronnogo karotazha s serijnoj apparaturoj radioaktivnogo karotazha.* - M.: VNIIYAGG.
 9. Deryaev, A.R. (2022). Rekomendacii po kompleksnomu vnedreniyu s razdel'noj ekspluatacijei odnovremennym neskol'kimi gorizontami na gazovyh mestorozhdeniyah Turkmenistana. *Problemy nauki* №1 (69) – M: Izdatel'stvo "Problemy nauki", pp.16-21.
 10. Deryaev, A.R. (2022). Ohrana nedr i okruzhayushchej sredy pri razrabotke gazovyh mestorozhdenij metodom odnovremennym razdel'noj ekspluatacii. *Nauchnyj zhurnal Metod Z* №2 (4) – Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo: GNII «Nacrazvitie», pp.12-14.
 11. Deryaev, A.R., & Oratzklychev, K. (2015). *Sposob odnovremeno-razdel'noj dobychi nefti i gaza iz mnogoplastovoj zalezhi odnoj skvazhinoj.* Patent № 644 ot 08.06.2015. (nomer zayavki 15/101320).
 12. Deryaev, A.R., & Oratzklychev, K. (2015) *Sposob odnovremeno-razdel'noj i sovmestnoj ekspluatacii neskol'kimi produktivnymi gorizontami odnoj skvazhinoj i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya.* Patent № 643 ot 08.06.2015. (nomer zayavki 14/101317).
 13. Semenov, V.N. (2010). Opyt razrabotki i osvoeniya tekhnologii ORRNEO mekhanizirovannym sposobom. V.N.Semenov. *Inzhenernaya praktika.* №1, pp. 85-89.
 14. Osipov, M. G. (1957). Dobycha bezvodnoj nefti iz zalezhi s podoshvennoj vodoj. *Neftyanoe hozyajstvo.* №12, pp. 42-51.
 15. Parijchuk, N.I. (2011). Opyt vnedreniya tekhnologij OOO «SP-BARS» dlya sovmestnoj razrabotki neskol'kimi gorizontami v neftedobyvayushchih kompaniyah Rossii N.I. Parijchuk *Inzhenernaya praktika.* №3, pp. 69-71.
 16. 16 Deryaev, A.R. (2022). *Osobennosti burenija naklonno-napravленных скважин и технологии их одновременного раздельного эксплуатации.* "Fundamental'naya i prikladnaya nauka: sostoyanie i tendencii razvitiya". Monografiya. (pp.76-96). Petrozavodsk: Nauchnoe izdanie: MCNP "Novaya nauka".
 17. Belen'kij, V.I. (1964). Razrabotka neftyanyh mestorozhdenij s primeneniem metoda odnovremennym razdel'noj ekspluatacii dvuh plastov v odnoj skvazhine. Opyt odnovremennym razdel'noj ekspluatacii neskol'kimi plastov cherez odnu skvazhinu, Ser. *Dobycha: nauch.-analit. i temat. obzory.* (pp.31-43). M: CNIITEneftegaz CNIITEneftegaz.
 18. Diyashev, R.N., Musabirova, N.H., & Iktisanova, V.A. (1997). *Metodicheskoe rukovodstvo po opredeleniju optimal'nyh plastovyh i zaboljnyh davlenij.* (p.88). Bugul'ma: TatNIPIneft'.
 19. Deryaev, A.R. (2022). Treatment of drilling mud with "PACS-T" additive. *"Innovative approaches in the modern science"* Proceedings of CXV international scientific – practical conference. International scientific journal №7 (115) – M: pp. 74–77.
 20. Deryaev, A.R. (2022). *Rekomendacii po burovomu rastvoru dlya burenija sekci 295,3 mm otkrytogo stola naklonno-napravlennoj skvazhiny.* Sbornik statej II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Nauka, obshchestvo, tekhnologii: problemy i perspektivy vzaimodejstviya v sovremennom mire". (pp.7-11). Petrozavodsk: Nauchnoe izdanie: MCNP "Novaya nauka".
 21. (1974). *Spravochnaya kniga po dobache nefti,* pod.red.SH.K. Gimatdinova. (p.704). M.: Nedra.
 22. Deryaev, A.R. (2022). Provedenie promyslovyh ispytanij kompleksnoj ingibirovannoj dobavki KAIR-T na neftegazovyh ploshchadyah Turkmenistana. *Problemy sovremennoj nauki i obrazovaniya* №1(170) – M: Izdatel'stvo "Problemy nauki", pp.11-17.
 23. Deryaev, A.R. (2022). Osnovnye perspektivy razvitiya i inzhenernoe planirovanie burovyyh rabot dlya rezul'tativnosti gorizonta'l'nogo burenija. *Nauka, tekhnika i obrazovanie* №1 (84) – M: Izdatel'stvo "Problemy nauki", pp.33-38.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

24. Deryaev, A.R. (2022). Metody opredeleniya tekhnologicheskikh pokazatelej effektivnosti odnovremennoj razdel'noj ekspluatacii. Nauchnyj zhurnal *Metod Z №1(3)* – Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo: GNII «Nacrazvitie», pp.8-10.
25. Geldimyradov, A. G., & Deryaev, A.R. (2022). *Razrabotka gazokondensatnyh mestorozhdenij*

metodom odnovremennoj razdel'noj ekspluatacii.
«Instrumenty i mekhanizmy ustojchivogo innovacionnogo razvitiya» Monografiya vypusk №67 – Ufa: Nauchnoe izdanie: NIC “Aeterna”, pp. 22-37.

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

**International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science**

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2024 Issue: 02 Volume: 130

Published: 05.02.2024 <http://T-Science.org>

Issue



Article



Gennady Evgenievich Markelov
Bauman Moscow State Technical University
Candidate of Engineering Sciences, associate professor,
Academician of International Academy of Theoretical and Applied Sciences,
Moscow, Russia
markelov@bmstu.ru

ASPECTS OF TEACHING MATHEMATICAL MODELING

Abstract: This paper describes some particular aspects associated with teaching of mathematical modeling. Taking into account these aspects allows improving the quality of graduates training and increasing their competitiveness.

Key words: education, mathematical model, mathematical modeling, principled approach, teaching.

Language: Russian

Citation: Markelov, G. E. (2024). Aspects of teaching mathematical modeling. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 02 (130), 17-25.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-02-130-3> Doi: [crossref https://dx.doi.org/10.15863/TAS](https://dx.doi.org/10.15863/TAS)

Scopus ASCC: 3304.

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация: В статье изложены некоторые особенности, связанные с преподаванием математического моделирования. Учет таких особенностей позволяет улучшить качество подготовки выпускников, повысить их конкурентоспособность.

Ключевые слова: образование, математическая модель, математическое моделирование, принципиальный подход, обучение.

Введение

Математическое моделирование как способ исследования и получения новых знаний применяют в различных областях человеческой деятельности. Многие научные публикации показывают возможности, которые открывает математическое моделирование. В настоящее время возрастает роль междисциплинарных исследований, формируются новые научные направления, успешно использующие междисциплинарный подход. В связи с этим заслуживают внимания работы (см., например, [1–5]), которые демонстрируют возможности математического моделирования при решении профессиональных задач, возникающих на стыке нескольких академических дисциплин.

Возникновение новых фундаментальных и прикладных задач приводит к необходимости дальнейшего активного использования математического моделирования. Это

обусловлено многими причинами, среди которых: усложнение и сокращение сроков исследований, рост финансовых, энергетических и других затрат на обслуживание экспериментов, необходимость решения экологических, социальных и других сопутствующих исследованию проблем.

Математическое моделирование активно используют в современной системе образования. Проблемы, связанные с преподаванием элементов математического моделирования, широко обсуждаются в современной научной литературе, при этом рассматриваются разные точки зрения (см., например, [6–11]). Многие ученые считают, что изучение математического моделирования повышает математическую грамотность обучающихся, развивает их познавательные способности, создает лучшую мотивацию учения, укрепляет междисциплинарные связи (см., например, [12–15]).

В этой связи становится важным преподавание математического моделирования, направленное на изучение современных методов построения математических моделей, способов качественного и количественного анализа математических моделей, методик, позволяющих рационально использовать возможности математического моделирования.

Целью настоящей работы является изложение некоторых теоретических и методологических особенностей преподавания математического моделирования, которые создают предпосылки для рационального использования возможностей математического моделирования. В рамках данной работы в соответствии с выбранной целью уточнен существующий понятийный аппарат, обозначены этапы математического моделирования, которые могут быть реализованы обучающимися, предложена типовая задача, решение которой формирует необходимые навыки, даны методологические рекомендации по организации учебного процесса.

1. Понятия и определения

Подходы к построению математической модели, способы и методы ее изучения подробно изложены в обширной учебной и научной литературе (см., например, [16–19]). Однако в некоторых случаях возможности математического моделирования используют не рационально. Одна из причин этого заключается в том, что построенные математические модели не обладают нужными свойствами.

Основываясь на передовом педагогическом опыте, уточним понятие «математическое моделирование», которое определим как замену объекта исследования пригодной математической моделью и ее последующее изучение известными методами, способами. Математическую модель считаем пригодной, если она в достаточной мере обладает нужными свойствами применительно к конкретному исследованию.

1.1. Свойства математических моделей

Математическая модель может обладать многими свойствами. Однако ее использование не будет эффективным, если среди этих свойств отсутствуют те, которые нужны для проводимого исследования. Далее приведем краткое описание некоторых свойств математических моделей [20].

Свойство полноты. Полная математическая модель отражает существенные в данном случае свойства и качества объекта исследования.

Свойство адекватности. Адекватная математическая модель обеспечивает правильное качественное и точное количественное описание представляющих интерес характеристик объекта исследования. Например, при изучении технических устройств или систем математическую модель считают адекватной, если она описывает представляющие интерес количественные характеристики объекта исследования с относительной погрешностью не более заданного значения δ_0 .

Свойство продуктивности. Это свойство связывают с возможностью располагать достоверными исходными данными. Если такой возможности нет, то математическая модель не обладает свойством продуктивности, ее дальнейшее использование становится затруднительным или невозможным.

Свойство экономичности. Если математическая модель обладает свойством экономичности, то ее изучение не требует больших затрат времени и ресурсов. Чем более простой является математическая модель, тем в большей степени она обладает этим свойством.

Установив нужные для проводимого исследования свойства, можно сформулировать требования к математической модели объекта исследования. Такие требования противоречивы и на практике могут быть удовлетворены на основе разумного компромисса, достигаемого при прохождении этапов математического моделирования.

1.2. Основные этапы математического моделирования

На рис. 1 представлена схема, которая определяет последовательность проведения основных этапов математического моделирования. В общем случае можно выделить следующие этапы математического моделирования.

На первом этапе математического моделирования выполняют неформальный переход от объекта исследования к его содержательной модели. Под содержательной моделью понимают условное описание объекта исследования, которое должно учитывать его особенности и количественные характеристики, существенные для рассматриваемого случая. При этом обосновывают допущения и упрощения, позволяющие не учитывать те свойства и качества объекта исследования, которые предполагают несущественными.

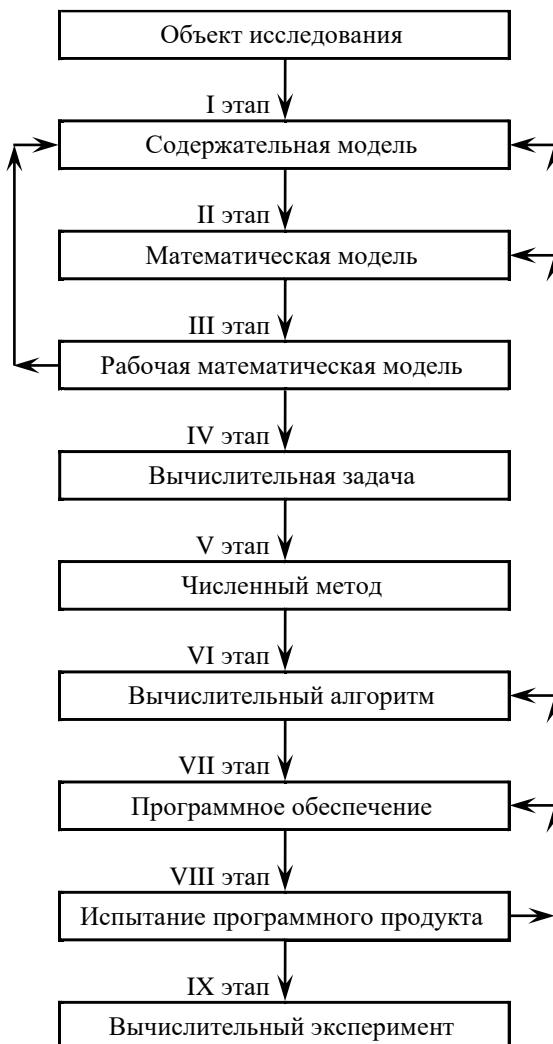


Рисунок 1 – Этапы математического моделирования.

На втором этапе осуществляют математическое описание содержательной модели. В результате такого формального описания получают математическую модель объекта исследования, причем можно разработать не одну, а несколько математических моделей одного и того же объекта исследования.

На третьем этапе математического моделирования при выполнении качественного и оценочного количественного анализа математической модели могут возникнуть основания для уточнения или пересмотра содержательной модели, что приведет к повторному прохождению первого этапа математического моделирования. Сравнение результатов анализа различных математических моделей позволяет сделать обоснованный выбор математической модели для дальнейшего детального количественного анализа. Итогом рассматриваемого этапа является разработка рабочей математической модели, то есть

математической модели, предназначенной для детального количественного анализа.

На четвертом этапе формулируют вычислительную задачу, анализ результатов решения которой может дать ответы на интересующие вопросы.

На пятом этапе математического моделирования осуществляют обоснованный выбор или построение численного метода. Как правило, численный метод не включает многие детали, без которых невозможно использовать средства вычислительной техники. Тут необходима подробная детализация всех этапов вычислений, для того чтобы получить реализуемый алгоритм вычислительного эксперимента. Разработка эффективного алгоритма вычислительного эксперимента является итогом шестого этапа математического моделирования.

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582
GIF (Australia)	= 0.564
JIF	= 1.500

SIS (USA)	= 0.912
РИНЦ (Russia)	= 3.939
ESJI (KZ)	= 8.771
SJIF (Morocco)	= 7.184

ICV (Poland)	= 6.630
PIF (India)	= 1.940
IBI (India)	= 4.260
OAJI (USA)	= 0.350

На седьмом этапе разрабатывают программное обеспечение, реализующее вычислительный алгоритм.

На восьмом этапе проводят испытание программного продукта. Тщательная проверка результатов расчетов может обнаружить недостатки, для устранения которых необходимо прохождение предыдущих этапов математического моделирования. После устранения всех выявленных недостатков приступают к реализации вычислительного эксперимента. Проведение вычислительного эксперимента является итогом завершающего девятого этапа математического моделирования.

Представленная последовательность этапов математического моделирования может видоизменяться в конкретных случаях. При этом для удовлетворения противоречивых требований, предъявляемых к математической модели объекта исследования, обычно соблюдают правила и выполняют рекомендации, которые стали результатом обобщения практического опыта, накопленного при построении математических моделей. В этой связи особый интерес представляют принципы построения математических моделей, которые носят общий и универсальный характер. Далее рассмотрим наглядный пример построения пригодной математической модели.

2. Пример построения математической модели

Построим пригодную математическую модель объекта исследования, используя широко известный принцип — принцип постепенного усложнения. Согласно данному принципу построение математической модели объекта исследования необходимо начинать с простейших математических моделей. Если модель обладает нужными свойствами применительно к конкретному исследованию, то ее используют на последующих этапах математического моделирования. В противном случае необходимо осуществить следующий цикл модификации математической модели, который приведет к построению более сложной модели, проверке ее пригодности и так далее до тех пор, пока не будет получена пригодная математическая модель. В этом случае удастся построить целую совокупность моделей одного и того же объекта исследования. Сравнение результатов, полученных с использованием различных математических моделей, может не только обогатить познание о рассматриваемом объекте исследования, но и повысить достоверность полученных результатов.

2.1. Постановка задачи

Рассмотрим параллельное соединение терморезисторов. Пусть T_i — температура i -го терморезистора, которая не зависит от пространственных координат, причем $T_i \leq T^*$, $i \leq n$. Температура T_i в начальный момент времени t_0 равна T_0 . На поверхности терморезистора площадью S_i происходит конвективный теплообмен с окружающей средой, температура которой равна T_0 , коэффициент теплоотдачи известен и равен α_i . Для сравнительно узкого диапазона температур от T_0 до T^* считаем, что

$$R_i(T_i) = r_i [1 + \beta_i(T_i - T_0)],$$

$$C_i(T_i) = c_i [1 + \gamma_i(T_i - T_0)],$$

где $R_i(T_i)$ и $C_i(T_i)$ — сопротивление и полная теплоемкость i -го терморезистора; r_i и c_i — сопротивление и полная теплоемкость i -го терморезистора при $T_i = T_0$; β_i и γ_i — положительные постоянные величины. Через i -й терморезистор протекает электрический ток, сила которого равна

$$I_i = \frac{U}{r_i [1 + \beta_i(T_i - T_0)]}, \quad (1)$$

где U — постоянная разность электрических потенциалов на полюсах i -го элемента.

Пусть в рамках проводимого исследования представляет интерес величина

$$I = \sum_{i=1}^n I_i. \quad (2)$$

Построим математическую модель макроуровня объекта исследования, которая в достаточной мере обладает свойствами полноты, адекватности, продуктивности и экономичности.

2.2. Решение задачи при $n = 1$

Для решения поставленной задачи разделим объект исследования на отдельные более простые элементы, допускающие их независимое исследование с последующим учетом взаимного влияния. Это позволяет перейти к рассмотрению технической системы, которая включает только один терморезистор, т. е. $n = 1$.

Выстроим иерархию математических моделей макроуровня такой технической системы и определим условия, при выполнении которых можно с относительной погрешностью не более заданного значения δ_0 найти искомую величину I_1 .

Если разность $T_1 - T_0$ достаточно мала, то согласно (1) найдем искомую величину по формуле

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

$$I_0 = \frac{U}{r_1}. \quad (3)$$

Определим условия, при которых применима полученная формула. Для этого рассмотрим установившийся процесс теплообмена. В этом случае мощность тепловыделения в материале терморезистора равна тепловому потоку, отводимому от терморезистора, т. е.

$$\frac{U^2}{R_1(T_*)} = \alpha_1(T_* - T_0)S_1,$$

где T_* — установившееся значение температуры терморезистора. Из полученного равенства легко найти

$$T_* = T_0 + \frac{1}{2\beta_1} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{4\beta_1 U^2}{\alpha_1 S_1 r_1}} \right),$$

а затем определить установившееся значение искомой величины

$$I_* = \frac{2U}{r_1 \left[1 + \sqrt{1 + 4\beta_1 U^2 \alpha_1^{-1} S_1^{-1} r_1^{-1}} \right]}, \quad (4)$$

причем для данного диапазона температур

$$\frac{U^2}{\alpha_1 S_1 r_1 (T^* - T_0)} \leq 1 + \beta_1 (T^* - T_0). \quad (5)$$

Для относительной погрешности величины I_0 запишем

$$\delta(I_0) = \left| \frac{I_1 - I_0}{I_1} \right| = \frac{I_0}{I_1} - 1 \leq \frac{I_0}{I_*} - 1.$$

При выполнении неравенства

$$\frac{I_0}{I_*} - 1 \leq \delta_0$$

можно с относительной погрешностью не более δ_0 использовать формулу (3) для нахождения искомой величины. Следовательно, при выполнении неравенства

$$I_0 \leq (1 + \delta_0)I_* \quad (6)$$

математическая модель макроуровня (3) в достаточной мере обладает свойствами полноты, адекватности, продуктивности и экономичности.

Затем определим условия, при которых применима математическая модель (4). Для этого рассмотрим неустановившийся процесс теплообмена. В этом случае изменение температуры терморезистора во времени t описывает обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка

$$C_1(T_1) \frac{dT_1}{dt} = \frac{U^2}{R_1(T_1)} - \alpha_1(T_1 - T_0)S_1,$$

а начальное условие имеет вид

$$T_1(t_0) = T_0.$$

Учитывая, что

$$I_1 = \frac{I_0}{1 + \beta_1 (T_1 - T_0)},$$

сформулируем задачу Коши

$$\begin{aligned} \frac{c_1 U}{\beta_1 r_1 I_1^2} \frac{dI_1}{dt} &= \frac{\alpha_1 S_1 U - \alpha_1 S_1 r_1 I_1 - \beta_1 r_1 U I_1^2}{\gamma_1 U - \gamma_1 r_1 I_1 + \beta_1 r_1 I_1}, \\ I_1(t_0) &= U r_1^{-1}. \end{aligned} \quad (7)$$

Тогда найдем момент времени

$$\begin{aligned} t_1 = t_0 + \frac{c_1}{\alpha_1 S_1} &\left[\frac{\gamma_1}{\beta_1} \left(\frac{r_1 I_*}{U} - 1 + \delta_0 \right) \frac{U}{r_1 I_*} + \right. \\ &+ \left(\frac{U}{2U - r_1 I_*} + \frac{\gamma_1}{\beta_1} \frac{U - r_1 I_*}{2U - r_1 I_*} \frac{U}{r_1 I_*} - 1 \right) \times \\ &\times \ln \left(2 - \frac{r_1 I_*}{U} - \delta_0 \right) - \left(\frac{U}{2U - r_1 I_*} + \right. \\ &\left. \left. + \frac{\gamma_1}{\beta_1} \frac{U - r_1 I_*}{2U - r_1 I_*} \frac{U}{r_1 I_*} \right) \ln \left(\frac{U}{U - r_1 I_*} \delta_0 \right) \right], \end{aligned}$$

для которого

$$I_1(t_1) = \frac{I_*}{1 - \delta_0}.$$

Очевидно, что при $t \geq t_1$

$$\delta(I_1) = \left| \frac{I_1 - I_*}{I_1} \right| = 1 - \frac{I_*}{I_1} \leq \delta_0,$$

а значение I_* можно с относительной погрешностью не более δ_0 считать равным $I_1(t)$. Следовательно, можно с относительной погрешностью не более δ_0 использовать формулу (4) для нахождения искомой величины. Это позволяет сформулировать следующее утверждение об использовании математической модели (4).

Утверждение 1. Если не выполнено условие (6), то математическая модель макроуровня (4) при $t \geq t_1$ в достаточной мере обладает свойствами полноты, адекватности, продуктивности и экономичности.

Разработка новой математической модели при формировании иерархии математических моделей объекта исследования может привести к уточнению найденных ранее условий применимости построенных математических моделей. Действительно, используя математическую модель (7), можно уточнить условие применимости формулы (3). Для этого найдем момент времени

$$\begin{aligned} t_1^* = t_0 + \frac{c_1}{\alpha_1 S_1} &\left[\left(\frac{\gamma_1}{\beta_1} \frac{U - r_1 I_*}{2U - r_1 I_*} \frac{U}{r_1 I_*} + \right. \right. \\ &\left. \left. + \frac{U}{2U - r_1 I_*} - 1 \right) \ln \left(1 + \frac{r_1 I_*}{U} \delta_0 \right) - \right. \end{aligned}$$

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582
GIF (Australia)	= 0.564
JIF	= 1.500

SIS (USA)	= 0.912
РИНЦ (Russia)	= 3.939
ESJI (KZ)	= 8.771
SJIF (Morocco)	= 7.184

ICV (Poland)	= 6.630
PIF (India)	= 1.940
IBI (India)	= 4.260
OAJI (USA)	= 0.350

$$-\left(\frac{U}{2U-r_i I_*} + \frac{\gamma_i}{\beta_i} \frac{U-r_i I_*}{2U-r_i I_*} \frac{U}{r_i I_*}\right) \times \\ \times \ln\left(1 - \frac{r_i I_*}{U-r_i I_*} \delta_0\right) - \frac{\gamma_i}{\beta_i} \delta_0\right],$$

для которого

$$I_1(t_1^*) = \frac{I_0}{1+\delta_0}.$$

Очевидно, что при $t \leq t_1^*$

$$\delta(I_0) = \left| \frac{I_1 - I_0}{I_1} \right| = \frac{I_0}{I_1} - 1 \leq \delta_0,$$

а значение I_0 можно с относительной погрешностью не более δ_0 считать равным $I_1(t)$. Следовательно, можно с относительной погрешностью не более δ_0 использовать формулу (3) для нахождения искомой величины. Это позволяет сформулировать утверждение об использовании математической модели (3).

Утверждение 2. Если выполнено условие (6) или $t \leq t_1^*$, то математическая модель макроуровня (3) в достаточной мере обладает свойствами полноты, адекватности, продуктивности и экономичности.

Тогда применительно к построенной иерархии математических моделей данного объекта исследования справедливо следующее утверждение об использовании математической модели (7).

Утверждение 3. Если не выполнено условие (6), то математическая модель макроуровня (7) при $t_1^* < t < t_1$ в достаточной мере обладает свойствами полноты, адекватности, продуктивности и экономичности.

2.3. Решение задачи при $n > 1$

Пусть техническая система включает несколько параллельно соединенных терморезисторов. Для решения поставленной задачи используем полученные результаты при $n=1$. Они позволяют легко построить иерархию математических моделей макроуровня объекта исследования и определить условия, при выполнении которых можно с относительной погрешностью не более заданного значения δ_0 найти искомую величину I .

Если разности

$$T_1 - T_0, \dots, T_n - T_0$$

достаточно малы, то согласно (1) найдем искомую величину по формуле

$$I_0 = U \sum_{i=1}^n r_i^{-1}. \quad (8)$$

Определим условия, при которых применима полученная формула. Для этого рассмотрим

установившийся процесс теплообмена. В этом случае согласно (4) и (5) установившееся значение величины I_i найдем по формуле

$$I_i^* = \frac{2U}{r_i \left[1 + \sqrt{1 + 4\beta_i U^2 \alpha_i^{-1} S_i^{-1} r_i^{-1}} \right]},$$

причем для данного диапазона температур

$$\frac{U^2}{\alpha_i S_i r_i (T^* - T_0)} \leq 1 + \beta_i (T^* - T_0). \quad (9)$$

Тогда установившееся значение искомой величины равно

$$I_* = \sum_{i=1}^n I_i^*. \quad (10)$$

Для относительной погрешности величины I_0 запишем

$$\delta(I_0) = \left| \frac{I - I_0}{I} \right| = \frac{I_0}{I} - 1 \leq \frac{I_0}{I_*} - 1.$$

При выполнении неравенства

$$\frac{I_0}{I_*} - 1 \leq \delta_0$$

можно с относительной погрешностью не более δ_0 использовать формулу (8) для нахождения искомой величины. Следовательно, при выполнении неравенства

$$I_0 \leq (1 + \delta_0) I_* \quad (11)$$

математическая модель макроуровня (8) в достаточной мере обладает свойствами полноты, адекватности, продуктивности и экономичности.

Затем определим условия, при которых применима математическая модель (10). Для этого рассмотрим неустановившийся процесс теплообмена. Тогда согласно (7) приходим к задаче Коши

$$\frac{c_i U}{\beta_i r_i I_i^2} \frac{dI_i}{dt} = \frac{\alpha_i S_i U - \alpha_i S_i r_i I_i - \beta_i r_i U I_i^2}{\gamma_i U - \gamma_i r_i I_i + \beta_i r_i I_i}, \\ I_i(t_0) = U r_i^{-1}, \quad (12)$$

где $1 \leq i \leq n$, и найдем момент времени

$$t_i = t_0 + \frac{c_i}{\alpha_i S_i} \left[\frac{\gamma_i}{\beta_i} \left(\frac{r_i I_i^*}{U} - 1 + \delta_0 \right) \frac{U}{r_i I_i^*} + \right. \\ \left. + \left(\frac{U}{2U-r_i I_i^*} + \frac{\gamma_i}{\beta_i} \frac{U-r_i I_i^*}{2U-r_i I_i^*} \frac{U}{r_i I_i^*} - 1 \right) \times \right. \\ \times \ln \left(2 - \frac{r_i I_i^*}{U} - \delta_0 \right) - \left(\frac{U}{2U-r_i I_i^*} + \right. \\ \left. + \frac{\gamma_i}{\beta_i} \frac{U-r_i I_i^*}{2U-r_i I_i^*} \frac{U}{r_i I_i^*} \right) \ln \left(\frac{U}{U-r_i I_i^*} \delta_0 \right) \right],$$

для которого

$$I_i(t_i) = \frac{I_i^*}{1 - \delta_0}.$$

Очевидно, что при $t \geq t_i$

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582
GIF (Australia)	= 0.564
JIF	= 1.500

SIS (USA)	= 0.912
РИНЦ (Russia)	= 3.939
ESJI (KZ)	= 8.771
SJIF (Morocco)	= 7.184

ICV (Poland)	= 6.630
PIF (India)	= 1.940
IBI (India)	= 4.260
OAJI (USA)	= 0.350

$$\delta(I_i^*) = \left| \frac{I_i - I_i^*}{I_i} \right| = 1 - \frac{I_i^*}{I_i} \leq \delta_0,$$

а значение I_i^* можно с относительной погрешностью не более δ_0 считать равным $I_i(t)$. Пусть $t_* = \max_{1 \leq i \leq n} t_i$, тогда легко показать, что при $t \geq t_*$

$$\delta(I_*) = \left| \frac{I - I_*}{I} \right| = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i - I_i^*)}{\sum_{i=1}^n I_i} \leq \delta_0.$$

Следовательно, можно с относительной погрешностью не более δ_0 использовать формулу (10) для нахождения искомой величины. Это позволяет сформулировать следующее утверждение об использовании математической модели (10).

Утверждение 4. Если не выполнено условие (11), то математическая модель макроуровня (10) при $t \geq t_*$ в достаточной мере обладает свойствами полноты, адекватности, продуктивности и экономичности.

Уточним условие применимости формулы (8), используя математическую модель (2), (12). Для этого найдем момент времени

$$\begin{aligned} t_i^* = t_0 + \frac{c_i}{\alpha_i S_i} & \left[\left(\frac{\gamma_i}{\beta_i} \frac{U - r_i I_i^*}{2U - r_i I_i^*} \frac{U}{r_i I_i^*} + \right. \right. \\ & + \left. \left. \frac{U}{2U - r_i I_i^*} - 1 \right) \ln \left(1 + \frac{r_i I_i^*}{U} \delta_0 \right) - \right. \\ & - \left. \left(\frac{U}{2U - r_i I_i^*} + \frac{\gamma_i}{\beta_i} \frac{U - r_i I_i^*}{2U - r_i I_i^*} \frac{U}{r_i I_i^*} \right) \times \right. \\ & \left. \times \ln \left(1 - \frac{r_i I_i^*}{U - r_i I_i^*} \delta_0 \right) - \frac{\gamma_i}{\beta_i} \delta_0 \right], \end{aligned}$$

для которого

$$I_i(t_i^*) = \frac{U}{r_i(1 + \delta_0)}.$$

Очевидно, что при $t \leq t_i^*$

$$\delta(Ur_i^{-1}) = \left| \frac{I_i - Ur_i^{-1}}{I_i} \right| = \frac{U}{r_i I_i} - 1 \leq \delta_0,$$

а значение Ur_i^{-1} можно с относительной погрешностью не более δ_0 считать равным $I_i(t)$.

Пусть $t^* = \min_{1 \leq i \leq n} t_i^*$, тогда легко показать, что при $t \leq t^*$

$$\delta(I_0) = \left| \frac{I - I_0}{I} \right| = \frac{\sum_{i=1}^n (Ur_i^{-1} - I_i)}{\sum_{i=1}^n I_i} \leq \delta_0.$$

Следовательно, можно с относительной погрешностью не более δ_0 использовать формулу (8) для нахождения искомой величины. Это позволяет сформулировать утверждение об использовании математической модели (8).

Утверждение 5. Если выполнено условие (11) или $t \leq t^*$, то математическая модель макроуровня (8) в достаточной мере обладает свойствами полноты, адекватности, продуктивности и экономичности.

Тогда применительно к построенной иерархии математических моделей данного объекта исследования справедливо следующее утверждение об использовании математической модели (2), (12).

Утверждение 6. Если не выполнено условие (11), то математическая модель макроуровня (2), (12) при $t^* < t < t_*$ в достаточной мере обладает свойствами полноты, адекватности, продуктивности и экономичности.

2.4. Выводы

Построение иерархии математических моделей макроуровня объекта исследования при выполнении неравенства (9) позволяет выявить математическую модель макроуровня, которая в достаточной мере обладает нужными свойствами применительно к конкретному исследованию, а исследователь получает ценный интеллектуальный продукт — эквивалент изучаемого объекта для рассматриваемого им частного случая. Действительно, если выполнено условие (11) или в рамках проводимого исследования $t \leq t^*$, то математическую модель макроуровня (8) рассматриваем как пригодную математическую модель. Если не выполнено условие (11), то при $t \geq t_*$ выбираем математическую модель (10). В противном случае пригодной математической моделью считаем математическую модель макроуровня (2), (12).

Очевидно, что применение пригодной математической модели приводит к сокращению затрат времени и средств на проведение исследования, позволяет рационально использовать возможности математического моделирования.

Заключение

Преподавание математического моделирования с учетом изложенных теоретических и методологических особенностей не требует существенной корректировки содержания дисциплины, специальной организации учебного процесса. Необходимые прикладные задачи могут быть легко получены из уже существующих задач. Однако реализация таких особенностей развивает личностные

Impact Factor:

ISRA (India) = **6.317**
ISI (Dubai, UAE) = **1.582**
GIF (Australia) = **0.564**
JIF = **1.500**

SIS (USA) = **0.912**
РИНЦ (Russia) = **3.939**
ESJI (KZ) = **8.771**
SJIF (Morocco) = **7.184**

ICV (Poland) = **6.630**
PIF (India) = **1.940**
IBI (India) = **4.260**
OAJI (USA) = **0.350**

качества и индивидуальные способности обучающихся, создает условия для повышения уровня математической подготовки как отдельного обучающегося, так и группы в целом, формирует общую и неразрывную связь между изучаемыми дисциплинами, улучшает качество подготовки обучающихся к будущей профессиональной деятельности в условиях быстро изменяющегося мира.

Статья может быть полезной не только преподавателям и учителям, которые применяют элементы математического моделирования, но и широкому кругу читателей, заинтересованных в использовании возможностей математического моделирования.

References:

1. De Marchi, S. (2005). *Computational and Mathematical Modeling in the Social Sciences*. Cambridge University Press.
2. Cristini, V., & Lowengrub, J. (2010). *Multiscale Modeling of Cancer: An Integrated Experimental and Mathematical Modeling Approach*. Cambridge University Press.
3. Lewandowsky, S., & Farrell, S. (2011). *Computational Modeling in Cognition: Principles and Practice*. SAGE.
4. Hoppitt, W., & Laland, K. N. (2013). *Social Learning: An Introduction to Mechanisms, Methods, and Models*. Princeton University Press.
5. Fennel, W., & Neumann, T. (2015). *Introduction to the Modelling of Marine Ecosystems*. Elsevier.
6. Eraslan, A., & Kant, S. (2015). Modeling Processes of 4th-Year Middle-School Students and the Difficulties Encountered. *Kuram ve Uygulamada Egitim Bilimleri*, 15(3), 809–824. <https://doi.org/10.12738/estp.2015.3.2556>
7. Krutikhina, M. V., Vlasova, V. K., Galushkin, A. A., & Pavlushin, A. A. (2018). Teaching of Mathematical Modeling Elements in the Mathematics Course of the Secondary School. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(4), 1305–1315. <https://doi.org/10.29333/ejmste/83561>
8. Anhalt, C. O., & Cortez, R. (2016). Developing Understanding of Mathematical Modeling in Secondary Teacher Preparation. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 19(6), 523–545. <https://doi.org/10.1007/s10857-015-9309-8>
9. Fedoseyev, V. M. (2016). Involving Students in Research as a Form of Integration of Engineering with Mathematical Education. *Integration of Education*, 20(1), 125–133. <https://doi.org/10.15507/1991-9468.082.020.201601.125-133>
10. Czocher, J. A. (2017). How can Emphasizing Mathematical Modeling Principles Benefit Students in a Traditionally Taught Differential Equations Course? *Journal of Mathematical Behavior*, 45, 78–94. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2016.10.006>
11. Shilova, Z. V., & Sibgatullina, T. V. (2017). Methodology Features of Teaching Stochastics to University Students of the Biology Specialization. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(8), 4725–4738. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00960a>
12. Kim, S. H., & Kim, S. (2010). The Effects of Mathematical Modeling on Creative Production Ability and Self-Directed Learning Attitude. *Asia Pacific Education Review*, 11(2), 109–120. <https://doi.org/10.1007/s12564-009-9052-x>
13. Larripa, K. R., & Mazzag, B. (2016). A Modular Approach to Teaching Mathematical Modeling in Biotechnology in the Undergraduate Curriculum. *PRIMUS*, 26(5), 485–504. <https://doi.org/10.1080/10511970.2015.1104524>
14. Seshaiyer, P. (2017). Leading Undergraduate Research Projects in Mathematical Modeling. *PRIMUS*, 27(4–5), 476–493. <https://doi.org/10.1080/10511970.2016.1240732>
15. Anhalt, C. O., Cortez, R., & Bennett, A. B. (2018). The Emergence of Mathematical Modeling Competencies: An Investigation of Prospective Secondary Mathematics Teachers. *Mathematical Thinking and Learning*, 20(3), 202–221. <https://doi.org/10.1080/10986065.2018.1474532>
16. Samarskii, A. A., & Mikhailov, A. P. (2002). *Principles of Mathematical Modeling: Ideas, Methods, Examples*. Taylor & Francis.
17. Dym, C. L. (2004). *Principles of Mathematical Modeling*. Elsevier Academic Press.
18. Velten, K. (2009). *Mathematical Modeling and Simulation: Introduction for Scientists and Engineers*. Wiley-VCH.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

19. Meerschaert, M. M. (2013). *Mathematical Modeling*. Academic Press.
20. Markelov, G. Ye. (2005). Basic Principles to Construct Mathematical Models. *Herald of the*

*Bauman Moscow State Technical University,
Series Natural Sciences*, (4), 59–70.

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

**International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science**

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2024 Issue: 02 Volume: 130

Published: 06.02.2024 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Lapeti Sari
Riau University
Faculty Economics and Business, Pekanbaru, Indonesia

Cut Endang Kurniasih
Riau University
Faculty Economics and Business, Pekanbaru, Indonesia
Corresponding author
cutedang@lecturer.unri.ac.id

Taryono
Riau University
Faculty Economics and Business, Pekanbaru, Indonesia

Eriyati
Riau University
Faculty Economics and Business, Pekanbaru, Indonesia

Rizma Olly Via Rhahim
Riau University
Faculty Economics and Business, Pekanbaru, Indonesia

FACTORS AFFECTING MARRIED WOMEN'S WORK PARTICIPATION IN THE PROCESSING INDUSTRY SECTOR IN PELALAWAN DISTRICT

Abstract: This study was conducted to determine the effect of wage level, education level, age, husband's income level and expenditure level on married women's work participation in the manufacturing industry sector in Pelalawan Regency. In addition, the study aimed to identify the most influential variables among these factors on married women's work participation in the same sector and region. This study used a special sampling method, with a total of 64 respondents, and data analysis was conducted using multiple linear regression assisted by Eviews 10 software program. The research findings show that collective wage rate, education level, age, husband's income level and expenditure level have a statistically significant effect on the labor participation of married women in the manufacturing industry sector in Pelalawan Regency. Individually, wage level (X1) has a significant and positive effect on married women's work participation, education level (X2) has a significant and positive effect on married women's work participation, while age (X3) has a significant and negative effect on married women's work participation. Similarly, husband's income level (X4) has a significant and negative influence on married women's work participation and expenditure level (X5) has a significant and negative influence on married women's work participation. Among the five independent variables, education level is the most dominating factor affecting married women's work participation in the manufacturing industry sector in Pelalawan Regency. The cumulative effect (R2) of these three variables on the dependent variable is 63%, and the remaining 37% is influenced by other variables that have not been examined in this study.

Key words: Participation, Women, Industry.

Language: English

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	РИНЦ (Russia)	= 3.939	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.771	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

Citation: Sari, L., Kurniasih, C. E., Taryono, Eriyati, & Rhahim, R. O. V. (2024). Factors affecting married women's work participation in the processing industry sector in Pelalawan district. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 02 (130), 26-34.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-02-130-4>

Doi:  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS>

Scopus ASCC:

Introduction

National development aims to create quality human resources. Improvements in women's quality of life can be achieved through development in the labor market. Women have taken on the role of the labor market in Indonesia as part of human resources, and have made a major contribution. According to data from the Indonesian Central Bureau of Statistics (2023) in August 2021, the labor force participation rate (TPAK) for men reached 83.87 percent, while the TPak for women reached 53.41 percent. Although the labor force participation rate of men remains higher than that of women, there has been a significant increase in women's TPak from 53.34 percent in 2021 to 53.41 percent in 2022.

The high number of women entering the labor market has a positive impact on economic growth, because it provides a positive response to the increase in the number of available workers, as stated (Maryam, 2021). The abundant availability of labor not only encourages economic growth, but is also the result of economic development itself. As mentioned by Malik (2016), during the period from 1970 to 2000, Indonesia experienced structural changes in its economy towards a sector that was more oriented towards the non-agrarian sector. These changes also affect the employment structure and job opportunities in the country.

The role of the agricultural sector in national production or gross domestic product (GDP) tends to continue to decline, replaced by the trade and services sector as well as the industrial sector which continues to experience significant increases. According to Mc Cawley in (Sumilat & Wahyuni, 2020) around 80% of the workforce in the industrial sector lives in rural areas, and almost half the majority of these workers are women. Apart from that, Pelalawan Regency is also experiencing a change in economic structure from the agricultural sector to the industrial sector.

Pelalawan Regency, which is located in Riau Province, has an economy dominated by sectors such as processing industry, agriculture, forestry, plantations, wholesale trade and retail. The economic structure in this region is greatly influenced by the role of these sectors in the production of goods and services. In 2021, the two sectors that dominate are the processing industry, which reaches 48.40 percent, and the agriculture, forestry and fisheries sector at 41.13 percent. However, in 2022, the processing industry will increase to 49.14 percent, while the agriculture, forestry and fisheries sectors will decrease to 39.95 percent (Pelalawan Central Statistics Agency, 2022).

The growth of the processing industry sector has

experienced rapid development and has had an impact on increasing labor participation in this sector. The job opportunities available in this industrial sector also encourage women to join the workforce (Teja 2015). This can be seen from women's work participation which is lower than men's work participation. When compared with other areas in Riau Province, Pelalawan Regency has the lowest absorption capacity for women in the processing industry sector.

According to the Indonesian Central Statistics Agency (2023), male labor participation in the processing industry sector in 2022 will reach 11,000 people, while women will only be around 1,897 people. The low number of female workers in the processing industry sector indicates limited employment opportunities for women. The structure of the female workforce is closely related to changes in economic structure, which is based on added value (GRDP) and reflects regional dependence on various production sectors.

The number of female workers in the processing industry sector in Pelalawan Regency in 2022 in the large industrial sector is 242 people, medium industry is 398 people, then small industry is 1,184 people and household industry is 73 people (Department of Manpower and Riau Province Transmigration, 2023). According to the Pelalawan Central Statistics Agency (2022), large industry makes the largest contribution to the GRDP of Pelalawan Regency, because there is the Crude Palm Oil (CPO) industrial sector and the pulp and paper pulp industry which supports the large industrial sector. Data on female workers is based on 23 companies in the Crude Palm Oil (CPO) industrial sector and the pulp and paper pulp industry in Pelalawan Regency.

Many women involved in large industrial sectors are influenced by various factors. Firstly, the wage factor, where high wages offered by the labor market certainly encourage someone to enter the labor market (Uppun, P., & Ramadhan 2022). The wages women earn can be used to supplement and meet their daily needs.

Second, the educational factor, which involves an element of prestige, especially for highly educated women who see work as a means to prove or actualize themselves (Putri and Purwanti 2012). Women currently have better access to education, so that more women who have a good education will have greater job opportunities.

Apart from educational factors, productive age factors also encourage married women to enter the labor market (Rochmawati et al., 2018). Based on the

Impact Factor:

ISRA (India) = **6.317**
ISI (Dubai, UAE) = **1.582**
GIF (Australia) = **0.564**
JIF = **1.500**

SIS (USA) = **0.912**
РИНЦ (Russia) = **3.939**
ESJI (KZ) = **8.771**
SJIF (Morocco) = **7.184**

ICV (Poland) = **6.630**
PIF (India) = **1.940**
IBI (India) = **4.260**
OAJI (USA) = **0.350**

Pelalawan Central Statistics Agency (2023), the highest level of female work participation occurs in the 35-44 year age group. Meanwhile, the work participation rate of women in the 55-60+ year age group is lower, this is due to the fact that in the 40-60 year age range, women's work productivity tends to decline. According to Annazah (2021), the older a woman is, the greater her risk of experiencing health problems, but on the contrary, young women tend to be more likely to choose to work compared to older women. Therefore, good management of the productive age group can have a positive impact on the country's economic performance.

Economic factors also play a role in the decision for women to work, especially if the household economic conditions are low and the husband's income is deemed insufficient for the family's needs. Therefore, women look for work to increase household income (Handayani et al., 2020). A husband's income can be measured by the district/city minimum wage, which is an important indicator in determining a person's income level.

According to data from the Pelalawan Regency Central Statistics Agency in 2022, it appears that every year the minimum wage in Pelalawan Regency has increased, and in 2023, the minimum wage in Pelalawan Regency will reach IDR 3,287,623. The minimum wage level received by a person reflects the individual's income level and consumption level.

Married women's work participation often relies on their husband's ability to generate income. A married woman's decision to work is greatly influenced by her husband's income level. Wives usually work harder to help with household costs if they feel their husband's income is still insufficient, to help meet household needs (Dewi, 2018).

Household expenditure is also an economic factor that influences women's work participation, the greater the level of household expenditure, the higher the work participation rate of married women (Direja 2021). The number of dependents in the family will influence the amount of family expenses, in this case family needs.

Household expenses are influenced by the

number of family members, the greater the number of family members who have to support the greater the household expenses. Having large household expenses that must be met, the wife feels the need to increase her working hours.

Factors that influence the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan district include wage level, education level, age, husband's income level and expenditure level.

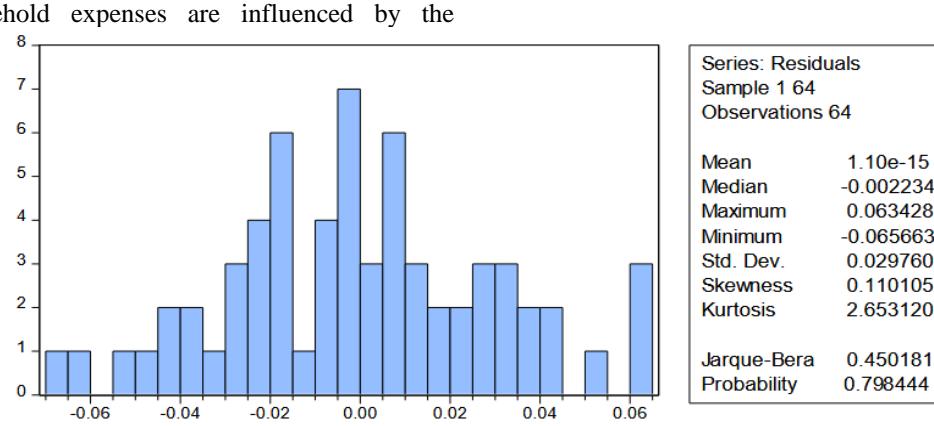
RESEARCH METHODS

The research involved a population of research subjects consisting of 189 female workers who worked in five large industrial companies in Pelalawan Regency. The sampling method used in the research is purposive sampling, which is included in the non-probability sampling category. The sample used in this research was 64 women who were married and worked in five large companies, located in Pelalawan Regency. The research methodology applied is a quantitative approach, using primary and secondary data. One method used by researchers to collect data is through the use of questionnaires. In this research, cross section data is used to analyze multiple linear regression using the Ordinary Least Squares (OLS) method. Multiple linear regression analysis is used to assess the correlation between two or more independent variables and the dependent variable (Y) (Wirawan 2017).

RESULTS AND DISCUSSION

Normality Test Results

The normality test is used to evaluate the distribution of data in the variables used in the research. When checking the assumption of normality, the Jarque-Bera (JB) test was used. If the calculated JB probability exceeds 0.05, then the data is considered to have a distribution that is close to normal. However, if the calculated JB probability is less than 0.05, then the data is considered not to follow a normal distribution (August 2015). The results of normality testing using the Jarque-Bera test can be seen in Picture 1.



Picture 1. Normality Test.

Source: Eviews Data Processing Results, 2023

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

Judging from the results of the previous normality test, it can be concluded that the Jarque-probability of 0.798444 exceeds the threshold of 0.05,

which indicates that the data in this research variable can be considered to follow a normal distribution.

Variables	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	0.500730	33312.36	NA
LOG(WAGE)	0.002504	40594.99	1.337276
LOG(EDUCATION)	0.005703	2924.242	1.486193
LOG(AGE)	0.000968	816.6302	1.608291
LOG(SUAM_REVENUEI)	0.000546	8707.589	1.364107
LOG(EXPENSE_HOUSEHOLD)	0.000886	13939.48	1.397497

Table 1. Multicollinearity Test Results
Variance Inflation Factors
Sample: 1 64

Source: Eviews 2023 Data Processing Results

Multicollinearity Test Results

According to Ghozali (2016) the purpose of the multicollinearity test is to find out whether the independent variables in the regression model are correlated with each other. Variance Inflation Factor (VIF) is a technique used to assess multicollinearity. Table 1 shows that if the VIF value is less than 10, then there is no evidence of a multicollinearity problem.

Table 1 shows that each variable in this study has a VIF (Variance Inflation Factor) which is below 10. Wage level has a VIF of 1.337276, education level of 1.486193, age of 1.608291, husband's income level of 1.364107 and household expenditure level of 1.397497 . From these results, there is no

multicollinearity between the independent variables. As a result, the data in this study met the requirements of the multicollinearity test.

Heteroscedasticity Test Results (Glejser)

The heteroscedasticity test is carried out to determine whether there is inequality in the residual variance from one observation to another in the regression model (Ghozali 2016). Decisions in the heteroscedasticity test are taken based on a probability greater than the significance level (0.05), which indicates that the model does not experience heteroscedasticity.

Table 2. Heteroscedasticity Test Results (Glejser)
Heteroskedasticity Test: Glejser

F-statistic	2.156468	Prob. F(5,58)	0.0714
Obs*R-squared	10.03266	Prob. Chi-Square(5)	0.0743
Scaled explained SS	9.168872	Prob. Chi-Square(5)	0.1025

Source: Eviews Data Processing Results, 2023

Based on table 2 it is known that the valueThe chi-square probability is $0.0743 > 0.05$, so it can be stated that in this regression, there is no

heteroscedasticity problem.

Multiple Linear Regression Results

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИНЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

Table 3. Multiple Linear Regression Results
 Dependent Variable: LOG (PEREMPUAN_WORK PARTICIPATION)
 Method: Least Squares

Variables	Coefficient	Std. Error	t-Statistics	Prob.
C	3.597451	0.707623	5.083854	0.0000
LOG(WAGE)	0.134445	0.050039	2.686833	0.0094
LOG(EDUCATION)	0.284165	0.075519	3.762828	0.0004
LOG(AGE)	-0.147119	0.031118	-4.727838	0.0000
LOG(HUSBAND'S_INCOME)	-0.076012	0.023369	-3.252711	0.0019
LOG(HOME_EXPENSESLADDER)	-0.059659	0.029762	-2.004549	0.0497
Adjusted R-squared	0.706118	+ dependent var		
Regression Residuals	0.680783	+ dependentvar		
squared residual	0.031016	+ se info criterion		
Likelihood	0.055796	+ arz criterion		
tistic	134.6257	+ an-Quinn Criter.		
(F-statistic)	27.87162	+ in-Watson stat		
	0.000000			

Source: Eviews Data Processing Results, 2023

The results of this research identify variables that have an impact on married women's work participation in the processing industry sector in Pelalawan Regency, as documented in table 3. The following are the results of the multiple linear regression analysis in this research:

$$\text{LogY} = 3.597451 + 0.134445 \text{LogX1} + 0.284165 \text{LogX2} - 0.147119 \text{LogX3} - 0.076012 \text{LogX4} - 0.059659 \text{LogX5}$$

Based on the equations in the multiple linear regression results in Table 3, we can interpret them as follows:

a. The constant value is 3.597451. This shows that if all independent factors are considered constant or fixed, then the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency is around 3.597451%.

b. The coefficient value for the wage level variable (X1) is positive at 0.134445. The results of this coefficient indicate that an increase in wage levels of 1% will result in an increase in the participation of married women working in the processing industry sector by around 0.134445%.

c. The coefficient value for the education level variable (X2) is positive at 0.284165. The results of this coefficient indicate that an increase in education level of 1% will result in an increase in the participation of married women working in the processing industry sector by around 0.284165%.

d. The coefficient for the age variable (X3) has a negative value of -0.147119. This illustrates that every 1% increase in the age of married women will reduce the work participation of married women in the processing industry sector by around 0.147119%.

e. The coefficient value of the husband's income level (X4) has a negative coefficient value of -

0.076012. The results of this coefficient show that every 1% increase in the husband's income level will reduce the work participation of married women in the processing industry sector by 0.076012%.

f. The coefficient value of household expenditure level (X5) has a negative coefficient value of -0.059659. The results of this coefficient show that every 1% increase in household expenditure levels will reduce the work participation of married women in the processing industry sector by 0.059659%.

Coefficient of Determination Results (R²)

The coefficient of determination is used to measure how big or far the independent variable is from the dependent variable. The coefficient of determination has a value of 0.680783 according to the results of multiple linear regression analysis which can be seen in table 3. This means that around 68 percent of the variation in married women's work participation in the processing industry sector in Pelalawan Regency can be explained by the wage level variable, education level, age, husband's income level and expenditure level have been included in this regression model. Meanwhile, the remaining 32 percent is influenced by other factors not included in this regression model.

Simultaneous Test Results (F Test)

The F test is used to assess the influence of independent factors on the dependent variable together. The significance level of this test has been set at 5% or 0.05. The F test probability value of 0.0000 is less than 0.05 based on the findings of multiple linear regression analysis in table 3. Therefore, it can be concluded that the variables wage level, education level, age, husband's income level and expenditure level together have significant influence

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582
GIF (Australia)	= 0.564
JIF	= 1.500

SIS (USA)	= 0.912
РИНЦ (Russia)	= 3.939
ESJI (KZ)	= 8.771
SJIF (Morocco)	= 7.184

ICV (Poland)	= 6.630
PIF (India)	= 1.940
IBI (India)	= 4.260
OAJI (USA)	= 0.350

on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency.

Partial Test Results (t Test)

This test uses significance criteria, where a significance value of less than 0.05 indicates a significant influence between the independent variable and the dependent variable. The following are the results of the multiple linear regression analysis in Table 3:

1. Wage Level has a significance value of $0.0094 < 0.05$, so it can be concluded that the wage level variable partially has a significant effect on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency.

2. Education level has a significance value of $0.0004 < 0.05$, so it can be concluded that the variable level of education partially has a significant effect on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency.

3. Age has a significance value of $0.0000 < 0.05$, so the Age variable partially has a significant effect on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency.

4. The significance level for the husband's income level variable is $0.0019 < 0.05$. Therefore, partially the husband's income level variable has a significant effect on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency.

5. The significance level for the husband's income level variable is $0.0497 < 0.05$. Therefore, partially the husband's income level variable has a significant effect on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency.

Discussion

The Influence of Variables: Wage Level, Education Level, Age, Husband's Income Level, and Expenditure Level Simultaneously

The research results show that simultaneously, the husband's education level, age and income level influence the work participation of married women in the processing industry sector of Pelalawan Regency, with a probability F value of 0.0000 which is lower than 0.05. This confirms that the husband's education level, age and income level have a significant influence on the work participation of married women in the processing industry sector of Pelalawan Regency.

Research by Klasen et al., (2020) shows a number of factors that influence changes in women's participation rates in the labor market. In a number of countries, including Blovia, Brazil, India, Jordan, South Africa, Tanzania, and Vietnam, they conducted comparative comparisons. Their study findings show that the main determinants influencing the level of women's involvement in the labor market include

disparities in women's and family characteristics, as well as social, institutional, and economic barriers. In addition, education level, age and income have a significant influence on married women's work participation, especially in countries with lower economic levels.

The Influence of Wage Level Variables on Married Women's Work Participation in the Processing Industry Sector in Pelalawan Regency

The results of the analysis in this study reveal that the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency is influenced positively and significantly by the education level variable. This can be seen from the positive coefficient value of 0.134445 and the significant probability F, which is 0.0094 which is less than 0.05. The results of this coefficient indicate that the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency will increase along with higher wage levels. Increasing the wife's income helps the husband to meet the family's needs.

According to neo-classical economic theory, it is explained that women's participation in the labor market depends on the variable wages offered. If the market offers high wages (exceeding expected expectations) then women's participation in the labor market will increase (Maryam 2021).

Explanations in the research also reveal that the reason married female workers work in the processing industry sector in Pelalawan Regency is that the wages offered by the company are very high. The high wages earned by wives help to meet the family's needs. The results of this research are in line with Purwanti, E., & Rohayati (2015) who stated that increasing the income level of female workers, their work participation will also increase, the income of female workers obtained from the work of female workers is influenced by the level of participation of women themselves. in work.

The Influence of Educational Level Variables on Married Women's Work Participation in the Processing Industry Sector in Pelalawan Regency

The results of the analysis in this study reveal that the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency is influenced positively and significantly by the education level variable. This can be seen from the positive coefficient value of 0.284165 and the significant probability F of 0.0004 which is less than 0.05. The results of this coefficient indicate that the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency will increase along with higher levels of education. This can increase married women's income and improve overall welfare.

In the formal sector in large companies in the processing industry sector of Pelalawan Regency, the

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	PIF (India) = 1.940	
	GIF (Australia) = 0.564	IBI (India) = 4.260	
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

education pursued by female workers is a major concern. On average, married female workers complete their final education within a period of 16-18 years in the processing industry sector of Pelalawan Regency. This shows that education is very important to form knowledge and work experience which can later improve skills. With skills, companies expect good and increased productivity from the workforce.

The Influence of Age on Married Women's Work Participation in the Processing Industry Sector in Pelalawan Regency

The results of the analysis in this study reveal that the age variable has a significant and negative influence on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency. This result can be seen from the probability that F is significant at 0.0000, which is less than 0.05, and the negative coefficient value is -0.147119. The results of this coefficient indicate that the older married women are, the more their work participation in the processing industry sector in Pelalawan Regency will decrease.

Dwi (2020) also explains that work participation tends to decline after reaching old age. This is in accordance with the fact that at that age, many people enter retirement and may be physically unable to work anymore. In research, Berliana and Lukmi (2016) also support this finding by showing that women who are married and older have a lower probability of working more than 40 hours a week.

These results are related to the characteristics of the respondents, married women who work in the processing industry sector are predominantly in the 33-35 year age range which is classified as productive age. The decline in work participation at older ages can be caused by the decline in productivity that usually occurs with increasing age and declining health conditions.

The Influence of Husband's Income Level on Married Women's Work Participation in the Processing Industry Sector in Pelalawan Regency

The results of the analysis in this research include the husband's income level variable which has a significant and negative influence on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency. This can be seen from the significance of the F probability which reaches 0.0019, which is smaller than 0.05, as well as the negative coefficient value of -0.076012. The results of this coefficient indicate that the higher the husband's income, the lower the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency.

Explanations in the research also reveal that the reason married female workers work in the processing industry sector in Pelalawan Regency is to meet family or household needs. The high needs

of the family and the increase in prices of goods which are not always matched by an increase in income cause wives to help their husbands in earning a living for the family. A husband's ability to generate income has a major impact on how much married women participate in the labor market. Wives will work to help with household costs if their husband's income is still insufficient, as revealed in research by (Epinda, et al 2021).

The Influence of Expenditure Levels on Married Women's Work Participation in the Processing Industry Sector in Pelalawan Regency

The results of the analysis in this research variable level of expenditure have a significant and negative influence on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency. This can be seen from the significance of the F probability which reaches 0.0497, which is smaller than 0.05, as well as the negative coefficient value of -0.059659. The results of this coefficient indicate that the higher the level of expenditure, the lower the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency.

The results of this research are not in line with Maryam's (2021) opinion that if the level of expenditure is high, the level of work participation will also increase. This is because household expenditure follows the needs of household members who are dependent on the household.

Women who work in the processing industry sector, especially large industries, on average have a small number of dependents so the costs they incur for education are not too large. The company also provides facilities such as houses, electricity, etc., so expenses do not become large.

Dominant Factors that Influence Married Women's Work Participation in the Processing Industry Sector in Pelalawan Regency

Based on the research results in table 3, it can be concluded that the largest regression coefficient is owned by the independent variable wage level (X1) of 0.134445, education level (X2) of 0.284165, while age (X3) has a coefficient of -0.147119, husband's income (X4) is -0.076012 and the expenditure level has a coefficient of -0.059659. The coefficient value shows that the education level variable has the strongest or dominating influence on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency. This means that married women's work participation in the processing industry sector, especially large industries, tends to increase along with the increase in women's education level.

According to Sukarniati (2019), the dominant factor influencing work participation among married women is education. Increasing women's education

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	PIF (India) = 1.940	
	GIF (Australia) = 0.564	IBI (India) = 4.260	
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

has also increased work participation among women, including married women. This result is also in line with the opinion according to Dwi (2020) that women who have a high level of education usually do not carry out household tasks at home, but rather participate in the labor market. The results of this study show that women are married and have an educational level those with higher education are more likely to choose to work compared to women with lower education. Additionally, women with higher educational backgrounds may have access to a wider variety of jobs, including greater flexibility in working hours.

According to Herlina (2020), the level of education on married women's employment opportunities has a higher significance coefficient than the influence of age, wages, husband's income and industrial sector. This shows that the role of education is very dominant in increasing the participation of married women in the labor market. Therefore, it is better to emphasize efforts to empower the younger generation of women by increasing access to education as preparation for a career in the processing industry sector, especially in large companies.

CONCLUSION

Based on the results of research on the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan Regency, from the regression results that have been obtained, it can be concluded that simultaneously wage level, education level, age, husband's income level and expenditure level have a significant influence on women's work participation. who are married in this sector. Partially, wage levels and education levels have a positive and significant influence on the work participation of married women in the processing

industry sector in Pelalawan Regency. Meanwhile, age, husband's income and level of expenditure have a negative and significant influence on married women's work participation in this sector.

The most dominant factor influencing married women's work participation in the processing industry sector in Pelalawan Regency is the education variable, because the high level of education of married women who work increases the probability of married women working and they are more likely to choose to work rather than stay at home to care children and taking care of the household.

SUGGESTION

1. Companies are expected to be able to adjust the minimum wages set by the government.

2. The Pelalawan Regency government is expected to improve the quality of education and equal distribution of infrastructure related to education in order to expand employment opportunities for married women, especially in the processing industry sector in order to reduce the unemployment rate and the government should make it easier for married women who want and have the ability to work in companies and agencies.

3. It is hoped that the government and companies can select women of productive age to work in the processing industry and also provide special jobs that can be done by married women of productive age.

4. For future authors who want to research the same problem, they can also add new variables which are considered to also influence the work participation of married women in the processing industry sector in Pelalawan district.

References:

- Agus, Tri Basuki. (2015). *Ekonometrika (teori&aplikasi)*. Yogyakarta: Mitra Pustaka murni.
- Annazah, Nur Siti. (2021). "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Wanita Menikah Berusia Produktif Untuk Bekerja Tahun 2019 (Studi Kasus Provinsi Jawa Barat)." *Jurnal Ketenagakerjaan* Vol 16(No.1).
- (2023). Badan Pusat Statistik Indonesia. Badan Pusat Statistik Indonesia *Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja (TPAK) (Persen)*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Indonesia.
- (2023a). Badan Pusat Statistik Pelalawan. *Kajian Ekonomi Sektoral Kabupaten Pelalawan 2021*. Pelalawan: Badan Pusat Statistik Pelalawan.
- (2023b). *Statistik Daerah Kabupaten Pelalawan 2022*. Pelalawan: Badan Pusat Statistik Pelalawan.
- Berliana, Sarni Maniar, dan Ana Purbasari Lukmi. (2016). "Faktor Faktor Yang Memengaruhi Jam Kerja Tenaga Kerja Wanita Berstatus Kawin Dalam Seminggu Di Indonesia (Analisis Data Sakernas 2014)." *Jurnal Ilmiah WIDYA* 3(4): 1–6.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИНЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

7. Dewi, Made Ayu Laksmita, dan Ni Putu Martini Dewi. (2018). "Pengaruh Umur, Pendidikan dan Jumlah Tanggungan Keluarga terhadap Pendapatan Pekerja Perempuan Sektor Informal di Kota Denpasar." *Jurnal EP Unud* Vol 7(No.1): 1–29.
8. Direja, Sukma. (2021). "Partisipasi Kerja Wanita Menikah Di Provinsi Banten Tahun 2020." *Jurnal IlmuEkonomi* Vol.11 (No. 1).
9. Dwi, Handoyo Rossanto. (2020). *Ekonomi Sumber Daya Manusia*. Tangerang Selatan: Universitas Terbuka.
10. Epinda, Bela Aulia, Ansofino, dan Meliza Sari Putri. (2021). "Pengaruh Tingkat Pendidikan, Umur, Jumlah Tanggungan Keluarga, Pendapatan Suami Dan Motivasi Terhadap Keputusan Wanita Untuk Bekerja Di Kecamatan Koto Salak Kabupaten Dharmasraya." *Jurnal Horizon Pendidikan* Vol.1 (No.2): 263–72.
11. Ghozali, Imam. (2016). *Aplikasi Analisis Multivariete Dengan Program (IBM SPSS)*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
12. Handayani, Rahmita, Syapsan, dan Hendro Ekwarso. (2020). "Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Tenaga Kerja Perempuan Bekerja Di Sektor Informal Di Kota Pekanbaru." *Jurnal Akrab Juara* Vol.5 (No.4).
13. Herlina, Ellin. (2015). "Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kesempatan Kerja Wanita dan Implikasinya terhadap Kesejahteraan Keluarga di Kabupaten Cirebon." *Jurnal Ekonomi Program Pascasarjana Universitas Borobudur* 18(2): 172–207. ejournal.borobudur.ac.id.
14. Klasen, Stephan, Tu Thi Ngoc Le, Janneke Pieters, dan Manuel Santos Silva. (2020). "Comparable Micro-level Evidence from Eight Developing and Emerging Economies." *Journal of DevelopmentStudies* 57(3): 1–26.
15. Malik, Nazaruddin. (2016). *Dinamika Pasar Tenaga Kerja*. Malang: UMM Press.
16. Maryam, Siti. (2021). *Ekonomi Sumber Daya Manusia dan Ketenagakerjaan dalam Implementasi PeranProduktif Studi Etnis Mbojo*. Yogyakarta: Bintang Pustaka Madani.
17. Purwanti, E., & Rohayati, E. (2015). "Pengaruh Jumlah Tanggungan Keluarga, Pendapatan Terhadap Partisipasi Kerja Tenaga Kerja Wanita Pada Industri Kerupuk Kedelai Di Tuntang, Kab Semarang." *Among Makarti* 7(1).
18. Putri, Nadia Maharani, dan Evi Yulia Purwanti. (2012). "Analisis Penawaran Tenaga Kerja Wanita Menikah Dan Faktor Yang Mempengaruhinya Di Kabupaten Brebes." *Jurnal Ekonomi Dipenogoro* Vol.1 (No.1).
19. Rochmawati, Nur Fitria, Wahyu Hidayat Riyanto, dan Ida Nuraini. (2018). "Hubungan Tingkat Pendidikan, Usia, Dan Pengalaman Keja Terhadap Pendapatan Pekerja Wanita Pada Industri Kerajinan Dompet Ida Collection Di Desa Pulo Kecamatan Tempeh Kabupaten Lumajang." *Jurnal Ilmu Ekonomi* Vol.2 (N0.3): 399–408.
20. Sukarniati, Lestari. (2019). *Ekonomi Sumber Daya Manusia*. Yogyakarta: Deepublish.
21. Sumilat, Dimas Erik, dan Ekawati Sri Wahyuni. 2020. "Analisis Gender Rumah Tangga Tenaga KerjaPerempuan Dalam Sektor Industri Garmen Dengan Sistem Putting Out." *Jurnal Sains Komunikasi dan Pengembangan Masyarakat* Vol.4 (No.2).
22. Teja, Mohamad. (2015). "Pembangunan Untuk Kesejahteraan Masyarakat Di Kawasan Pesisir." *Jurnal Ekonomi Pembangunan* Vol.6 (No.1).
23. Uppun, P., & Ramadhan, S. (2022). "Determinan Jam Kerja Pengusaha Kuliner Kaki Lima diSungguminasa Kabupaten Gowa." *Jurnal Ekonomika dan Dinamika Sosial* 1(1): 57–75.
24. Wirawan, Nata. (2017). *Statistika Ekonomi dan Bisnis (Buku 2: Statsitika Inferensia)*. Denpasar: KerarasEmas.