

Р.С. Николаев, Д.О. Егоров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТИ ШКОЛ В УСЛОВИЯХ ДЕПОПУЛЯЦИИ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЕЛАБУЖСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

В условиях активной трансформации системы сельского расселения, связанной с депопуляцией сети населенных пунктов, агломерационными и урбанизационными процессами, стягиванием населения в крупные города и концентрацией в них, в сельских территориальных системах появляется запрос на решение проблем пространственной организации отдельных сфер жизнедеятельности. В частности, сокращение численности жителей и количества населенных пунктов приводит к неэффективности системы образования как в части расходов, так и в части организации образовательного процесса. В связи с этим весьма актуальными становятся вопросы логистики в системе образования, касающиеся оптимизации перевозки школьников между населенными пунктами и территориального планирования размещения элементов социальной сферы.

В исследовании приводится анализ существующей пространственной организации образовательной системы в сельской местности муниципального образования на примере Елабужского муниципального района Республики Татарстан. На основе полученных результатов разработаны альтернативные модели организации системы общего образования, которые затем сравниваются между собой по индикаторам эффективности. Оптимальными оказались модели на основе кластерных формирований с минимизацией пассажирооборота, которые позволяют определить варианты размещения с умеренными расходами и невысокой транспортной нагрузкой на перевозимых детей. Другой механизм опти-

мизации транспортных потоков связан с развитием существующей транспортной инфраструктуры, позволяющем выйти на новый уровень пространственной организации системы.

Результаты исследования могут быть применены в региональном (муниципальном) управлении, прогнозировании и проектировании, в территориальном планировании и градостроительстве.

Ключевые слова: сельская местность; школа; реформирование; реорганизация; транспортная система; оптимизация пассажирских потоков; моделирование; транспортная нагрузка

Для цитирования: Николаев Р.С., Егоров Д.О. Моделирование оптимизации сети школ в условиях депопуляции сельского населения (на примере Елабужского района Республики Татарстан) // Регион: экономика и социология. – 2022. – № 1 (113). – С. 153–200. DOI: 10.15372/REG20220106.

ВВЕДЕНИЕ: КОНТУР ПРОБЛЕМЫ

Интенсивный отток сельских жителей в города, вызванный урбанистическим переходом, начался с 1950-х годов, когда миграционное выбытие из сельской местности превышало 1 млн чел. ежегодно. К 1980-м годам миграционный отток из сельской местности уменьшился, хотя оставался отрицательным. Однако высокие темпы убыли сельчан с этого момента стали обуславливаться еще и естественной убылью как результатом многолетнего отъезда молодого населения [2]. Современный период характеризуется продолжением депопуляции сельской местности, следствием чего является трансформация структуры сельских населенных пунктов (СНП) по людности. Общие тенденции за период 1970–2010 гг. исследованы в географических работах А.И. Алексеева и С.Г. Сафронова [1], Д.О. Егорова и В.С. Шурпиной [4], Н.В. Зубаревич [5]. Они заключались в следующем:

- наблюдались стабильность и/или небольшой рост доли крупных и крупнейших СНП;
- доля мелких, средних и средне-крупноселенных СНП непрерывно сокращалась, происходило «спускание» в категории более мелких по людности СНП;

- увеличивалась доля мельчайших СНП и СНП без населения. Так, доля населенных пунктов с людностью до 50 чел. в 1970 г. составляла 41%, а в 2010 г. – 58% (в том числе 13% – без населения);
- в распределении населения наблюдался процесс непрерывной поляризации: все большая доля сельских жителей концентрировалась в крупных (с населением 1–3 тыс. чел.) и крупнейших (более 3 тыс. чел.) СНП. Так, к 2010 г. доля сельского населения в крупных и крупнейших СНП составила 55% (в 1970 г. – 28%). Сокращалась доля проживающих в мелких и средних СНП.

Данные процессы весьма негативно отражаются на потенциале развития сельских территорий, которые с утратой населения утрачивают и часть функций вместе с соответствующей инфраструктурой. Это происходит в связи с невозможностью содержания определенных объектов из-за их малой загруженности и неэффективности использования. Потеря территорией ряда функций, в свою очередь, приводит к росту миграционного оттока и сокращению факторов удержания населения. Таким образом, образуется цикл взаимосвязанных процессов, усиливающий сокращение населения в сельской местности.

На этом фоне обостряются проблемы, связанные с обеспеченностью населения необходимым набором социальных услуг, касающихся образования, здравоохранения, культуры и искусства, физической культуры и массового спорта. Сокращение численности населения в сельской местности вынуждает осуществлять трансформацию территориальной организации социальной сферы, в том числе системы общего образования. Основным механизмом трансформации – это ликвидация и слияние учреждений с последующей пространственно-временной организацией пассажирских потоков к оставшимся центрам предоставления соответствующих услуг. В начале 2000-х годов со сменой федерального правительства обозначился курс на оптимизацию региональных расходов на социальную сферу, вновь было обращено внимание на проблемы малокомплектных школ на депопулирующих сельских территориях. Задача оптимизации сети

образовательных учреждений была поставлена в Плана действий Правительства РФ по модернизации системы российского образования, что привело к разработке и внедрению Приказа Министерства образования РФ «О реструктуризации сети общеобразовательных учреждений, расположенных в сельской местности». За период с 2001/2002 по начало 2019/2020 уч.г. количество сельских школ в России сократилось почти наполовину (на 49%).

Оптимизация пространственной организации системы школьного образования осуществляется либо за счет управления пассажирскими потоками, либо за счет трансформации территориальной организации имеющейся инфраструктуры. В качестве взаимодействующих элементов выделяются центры, оказывающие соответствующие услуги, и население, получающее данные услуги, а также транспортная инфраструктура и транспортные средства, благодаря которым происходит пространственное перемещение получателя услуги.

В таком случае особую актуальность приобретают возможности использования логистики, управления пассажирскими потоками, а также совершенствования транспортной системы. Транспортно-логистические подходы достаточно активно применяются при изучении сферы услуг [7; 9], в том числе системы образования [3; 8]. Зарубежные специалисты достаточно широко рассматривают транспортно-логистические вопросы в части пространственной доступности учреждений образования и ее повышения, в том числе с учетом поведенческих аспектов, факторов размещения и взаимодействия территориальных систем [11; 13; 16; 24; 26]. Особый интерес представляют работы по поиску оптимальных маршрутов передвижения автобусов с применением различных методов моделирования [12; 17; 20–22]. В ряде работ в качестве основного элемента моделирования системы образования предлагаются методы системной динамики [10; 18].

Вопросы оптимизации школьной сети непосредственно сопряжены с вопросами устойчивого развития в части обеспечения качественного образования. Недоступность общего образования является одним из факторов социальной эксклюзии населения [15; 19; 23; 25]. Кроме того, недостаточно эффективное размещение объектов обра-

зования или необоснованная система организации транспортировки к ним способствуют возникновению неравенства в получении социальных благ и услуг [14]. Нерациональное распределение пассажирских потоков в пространстве приводит к потере временного ресурса, увеличению транспортной нагрузки и росту транспортной усталости населения, что негативно сказывается на состоянии здоровья и качестве обучения. Эффективная пространственная организация системы общего образования позволяет существенно сократить расходы, в том числе в части ресурсосбережения (расходы на содержание избыточных элементов в сети, на топливо при транспортировке и проч.).

В целом в России достаточно активно используется система доставки школьников к местам организации образовательного процесса. По данным Министерства образования и науки РФ за 2017 г., ежедневно 821,5 тыс. детей подвозятся к школам и обратно на автобусах, причем большая часть из них проживают в сельской местности¹ (всего в указанном году около 3 904,6 тыс. сельских школьников).

Процессы депопуляции сельской местности различны на разных территориях России. Справедливым будет предположить, что и подходы к оптимизации сети школ зависят от местных особенностей: характеристик расселения, транспортной освоенности территорий и возможности пользоваться образовательными организациями близлежащих городов. Нами предпринята попытка на примере Елабужского района Республики Татарстан: 1) оценить ситуацию с наполняемостью сельских школ в условиях многолетнего сокращения населения возрастом до 17 лет; 2) дать оценку экономической эффективности пространственной организации образовательной системы и оценку соблюдения нормативных значений доступности сети школ района после проведенной в 2000-х и 2010-х годах реорганизации образовательных учреждений; 3) рассмотреть возможные альтернативные направления оптимизации сети школ района и выявить среди них наиболее оптимальные решения.

¹ См.: *Минобрнауки* просит пересмотреть критерии списывания школьных автобусов. ТАСС, 5 апреля 2018. – URL: <https://tass.ru/obschestvo/5098611> .

ХАРАКТЕРИСТИКА СИТУАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Елабужский муниципальный район находится на северо-востоке Республики Татарстан, расположен в 215 км от Казани и в 26 км от Набережных Челнов. Население по состоянию на 2019 г. составляло 85,6 тыс. чел. (из них лишь 11,7 тыс. – сельские жители, остальные – жители г. Елабуга). Начиная с 2000-х годов сельское население района незначительно увеличивалось, однако это изменение происходило на фоне резкой убыли численности сельчан в 1990-е годы (за указанный 10-летний период население сократилось более чем на 60%). Расселение характеризуется преобладанием мелких (до 200 жителей) СНП, которые составляют около 60% от всех населенных пунктов района. Остальные 40% – населенные пункты, в которых от 201 до 1000 жителей, единственное исключение – с. Танайка с более чем 1,5 тыс. жителей.

С 2006 г. количество общеобразовательных организаций в сельских поселениях района сократилось почти вдвое: если на начало учебного года фиксировалось 21 учебное заведение данного типа, то в 2017 г. их осталось лишь 11 единиц, включая филиалы и обособленные подразделения. Оптимизация территориальной организации общего образования в муниципальном районе осуществлялась в два этапа (рис. 1). Первое, наиболее масштабное, сокращение количества общеобразовательных учреждений произошло в 2010–2011 гг., когда было закрыто девять сельских школ (более 40% от их первоначального числа). Вторая волна сокращений прошла в 2013–2014 гг. Стоит отметить, что в конце 2017 г. была открыта начальная школа в с. Новая Мурзиха.

В целом, такая политика противоречила Схеме территориального планирования Елабужского муниципального района (2010 г.), в которой, напротив, предполагалось сохранение общеобразовательных учреждений в каждом центре поселения, а также создание (или расширение) школ в некоторых локальных населенных пунктах – п. Луговой, д. Хлыстово, д. Черенга, с. Покровское, п. Красная Горка.

На начало 2017/2018 уч.г. в сельской местности Елабужского муниципального района функционировало 12 общеобразовательных

Моделирование оптимизации сети школ в условиях депопуляции сельского населения
(на примере Елабужского района Республики Татарстан)

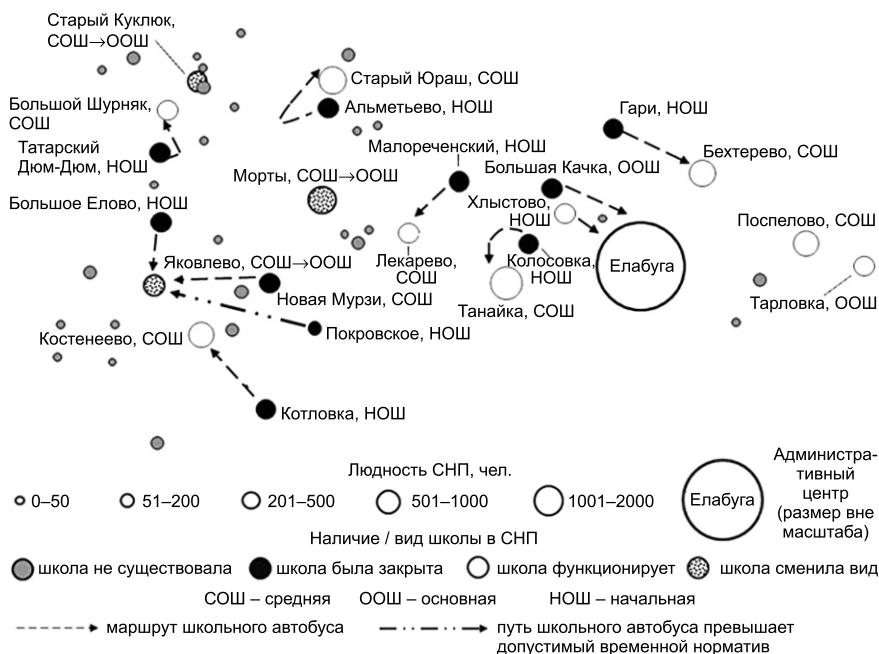


Рис. 1. Реконструкция оптимизации школьной сети в сельской местности Елабужского района в период 2006–2017 гг.

Источник: составлено Д.О. Егоровым по данным опроса местных органов образования

учебных заведений, где обучалось 0,82 тыс. детей (табл. 1). Дополнительно в предоставлении образовательных услуг сельским жителям была задействована школа в г. Елабуга, а общее число детей из сельской местности, получавших образование, составило 0,9 тыс. Таким образом, около 25% сельских детей в возрасте от 7 до 17 лет не получали общего образования или получали его в других учебных заведениях (в школах г. Елабуга или в средних профессиональных учебных заведениях).

Проведенные преобразования привели к негативным последствиям для ряда поселений, в которых при сложившейся территориальной структуре сети школ стало невозможным соблюдение нор-

Таблица 1

Результаты деятельности и использования имущества муниципальных образовательных учреждений Елабужского муниципального района, участвующих в образовании сельских жителей, за 2017 г.

Населенный пункт	Тип школы	Число учащихся		Средняя численность работников, чел.			Расходы, млн руб. в год			Основные фонды	
		Текущее	Проектное	Всего	Педагоги	На 1 учащегося	Оплата труда	Здание, Оф, ком. услуги	Иные	Площадь зданий, тыс. кв. м	Износ, %
Бехтерво	СР	71	192	26	19	0,37	9,60	0,74	0,75	1,67	45,2
Б. Шурняк	СР	47	162	21	14	0,45	7,88	0,57	0,53	2,02	20,6
Костенеево	СР	67	–	24	16	0,36	8,87	1,56	0,47	1,68	66,9
Лекарево	СР	51	–	25	15	0,49	8,73	0,59	0,62	1,39	29,5
Морты	ОС	61	320	24	15	0,39	7,31	0,79	0,68	2,35	43,5
Поспелово	СР	92	192	23	19	0,25	9,18	0,76	0,84	1,52	36,4
Ст. Куклюк	ОС	18	192	15	11	0,83	5,66	0,58	0,55	1,38	32,0
Ст. Юраш	СР	62	320	30	15	0,48	10,38	0,77	0,79	2,66	47,2
Танайка	СР	242	320	38	27	0,16	13,77	1,26	2,66	3,23	2,0
Яковлево	ОС	51	192	23	15	0,45	8,38	0,61	0,60	1,85	48,1
Тарловка, шк. № 11	ОС	53	225	19	16	0,36	5,88	1,22	0,80	2,56	43,2
Елабуга, шк. № 3	СР	587	–	74	44	0,13	26,50	2,90	2,51	5,19	50,4
Хлыстово, филиал шк. № 3	НЧ	23*	35	6*	4*	–	–	–	–	0,21	–

Примечания: СР – средняя школа, ОС – основная школа, НЧ – начальная школа; * – числятся в составе базовой школы.

Источник: данные отчетов, представленных на официальном сайте для размещения информации о государственных (муниципальных) учреждениях <https://bus.gov.ru>.

мативов временной доступности. Учащиеся начальных классов из с. Свиногорье, с. Котловка, д. Токмашка, п. Малореченский, с. Гари, д. Мальцево, с. Покровское проживают в населенных пунктах, откуда образовательные учреждения начальной школы недостижимы в установленные временные лимиты в обе стороны. Согласно нормативу минимальной пешеходной или транспортной доступности общеобразовательных объектов для учреждений начального образования транспортная доступность не должна превышать 15 мин, а для учреждений основной и полной ступеней образования – 30 мин².

Проведенная реорганизация школ позволила повысить среднюю наполняемость одной сельской школы с 55 учащихся в 2006 г. до 73 в 2017/2018 уч.г. Однако сеть школьных учреждений, сформированная некогда на данной территории, была ориентирована на значительно большее число детей. Суммарная проектная мощность школ, имевшихся в сельской местности на начало 2017/2018 уч.г., превышала 2,5 тыс. детей в одну смену. То есть мощности в системе общего образования использовались лишь на 34%, что является отражением существенного сокращения численности населения района в школьном возрасте, а также оттока сельских жителей в города. Особенно заметно недоиспользование мощностей в восточной части района (с. Старый Куклюк, с. Яковлево, с. Морты) и в с. Тарловка (рис. 2). Эти же поселения выделяются как наиболее обеспеченные работниками, в том числе педагогами (см. табл. 1). В свою очередь, школы возле административного центра (г. Елабуга) более рационально используют имеющиеся площади и педагогический состав. Чем более периферийное положение сельской школы относительно административного центра, тем менее эффективно в ней используются образовательные ресурсы.

В такой ситуации можно говорить о наличии признаков низкой эффективности использования имущественного комплекса и органи-

² См.: *Республиканские* нормативы градостроительного проектирования Республики Татарстан (утв. Постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 27.12.2013 № 1071). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/463307185> .

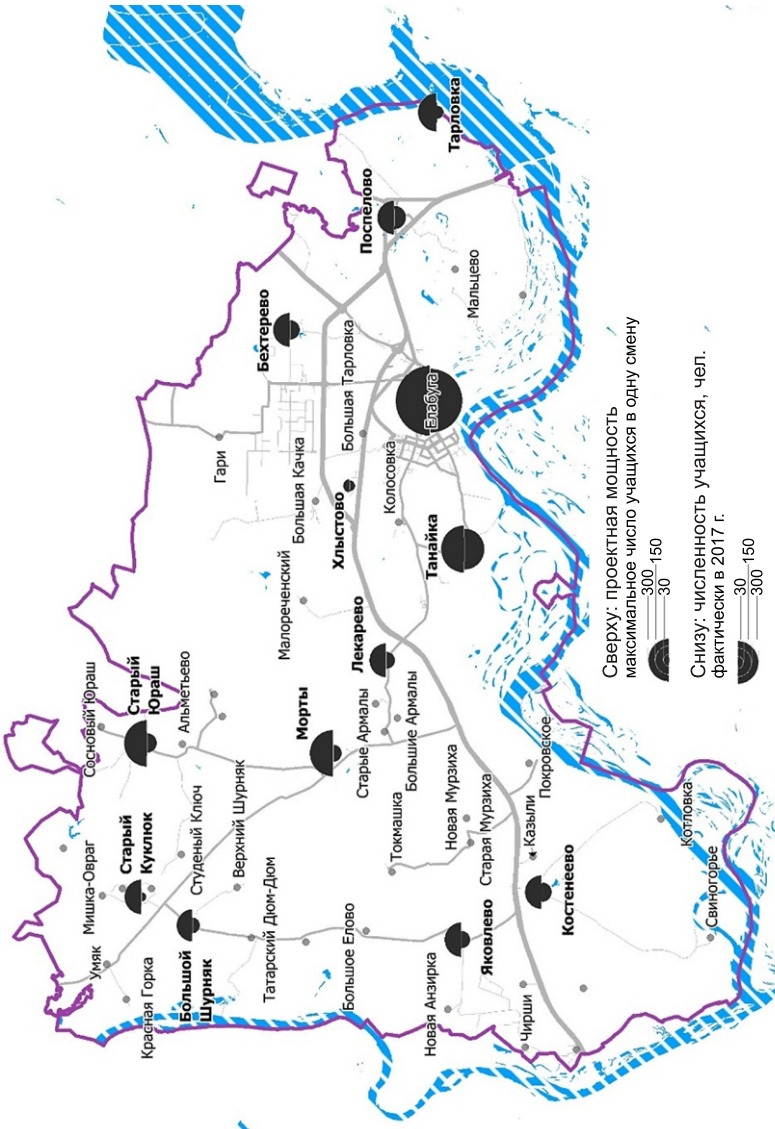


Рис. 2. Использование проектной мощности школ, участвующих в образовании сельских жителей
Елабужского муниципального района, в 2017 г.

Источник: отчеты на официальном сайте для размещения информации о государственных (муниципальных) учреждениях
<https://bus.gov.ru>

зации образовательного процесса. В ходе исследования все школы³, участвующие в предоставлении общеобразовательных услуг сельским жителям Елабужского муниципального района, были проанализированы на предмет результатов деятельности и использования имущества (по данным табл. 1).

Главная статья расходов, формируемая в школах, связана с оплатой труда, содержанием имущественного комплекса и амортизацией основных фондов, необходимой для будущей реконструкции школьного здания. Анализ объемов и структуры расходов в школах Елабужского района, участвующих в предоставлении образовательных услуг сельским жителям, позволил выявить наличие тесных и устойчивых связей между числом учащихся и расходами на каждого из них (рис. 3–5).

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что определенный уровень оптимальности в содержании школ достигается при количестве учеников от 100–150 чел., когда формируется как минимум по одному классу (от 10 чел.) каждой ступени. Расходы на содержание здания и оплату коммунальных услуг также зависят от численности учащихся, хотя по факту многие школы в сельской местности оказываются существенно недоукомплектованными, а следовательно, в такой ситуации содержание всего имущественного комплекса оказывается крайне неэффективным.

³ Такую модель можно рассматривать как построенную на малой выборке, которая также используется в математической статистике. Включение в наблюдение иных объектов (школ) из других муниципальных образований также может привести к появлению отклонений и недостоверности итоговых уравнений, что будет связано с особенностями тарифного регулирования в каждом муниципальном образовании. Таким образом, считаем данный вопрос дискуссионным и требующим дополнительного исследования. В целом, модель может быть дополнена образовательными учебными заведениями в сопоставимых по условию муниципальных образованиях с целью проверки и (или) повышения достоверности полученных зависимостей. Однако полагаем, что при рассмотрении данной системы (Елабужского района) как замкнутой (а система образования местного уровня четко замыкается в границах муниципального образования) полученные уравнения наиболее объективно позволяют моделировать в конкретных условиях конкретного муниципального образования.

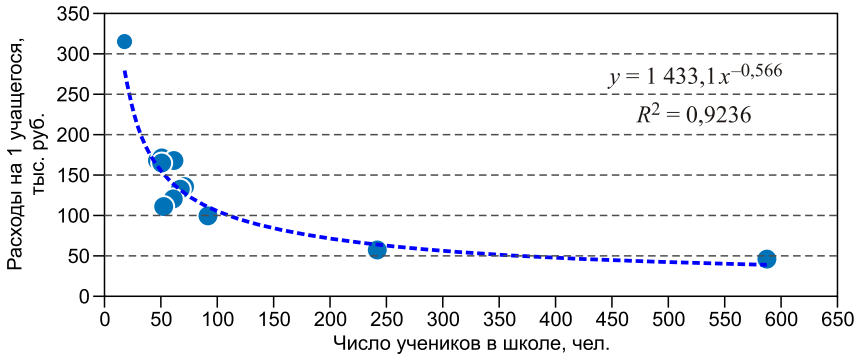


Рис. 3. Объем расходов на одного учащегося в общеобразовательных учебных заведениях Елабужского муниципального района в зависимости от числа учеников в них по данным за 2017 г. по статьям «оплата труда» и «отчисления с заработной платы в фонды»

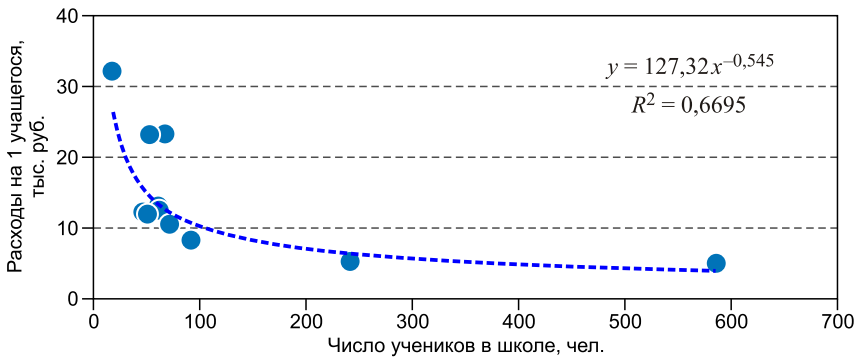


Рис. 4. Объем расходов на одного учащегося в общеобразовательных учебных заведениях Елабужского муниципального района в зависимости от числа учеников в них по данным за 2017 г. по статьям «содержание здания» и «коммунальные услуги»

Чем в большей степени достигается уровень концентрации детей в одной школе, тем более эффективно используются финансовые средства на ее содержание, что обеспечивается эффектом масштаба, а также тем более сбалансирован образовательный процесс. Наиболее объективно эти связи описываются степенной функцией (коэффи-

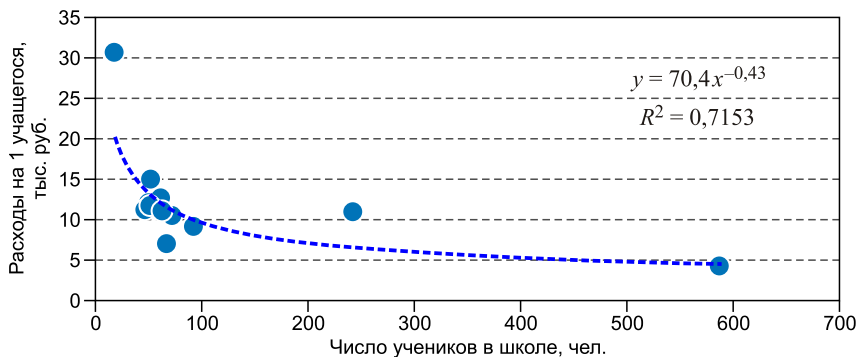


Рис. 5. Объем расходов на одного учащегося в общеобразовательных учебных заведениях Елабужского муниципального района в зависимости от числа учеников в них по данным за 2017 г. по статье «иные расходы»

коэффициент аппроксимации 0,7 и выше), а значит, на определенном уровне прирост концентрации не дает пропорционального эффекта и фактически становится бесполезным. Так, например, содержание работников в школе на 50 чел. требует в 2,5 раза больше средств, чем в школе на 150 чел., а в школе на 250 учащихся содержание штата почти идентично его содержанию в заведении на 500–600 учеников. Подобным образом описываются расходы по другим статьям: содержание имущественного комплекса, коммунальные услуги, иные расходы.

ПРОБЛЕМНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ. ЦЕЛЬ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Корреляционно-регрессионный анализ (см. рис. 3–5) показывает ориентиры экономической эффективности деятельности сельских школ при достижении наполняемости в 100–150 учащихся, которая не была достигнута в ходе оптимизационных преобразований. При этом в существующей территориальной схеме общего образования обнаружены факты нарушения нормативов временной доступности базовых школ.

Для анализа уровня оптимальности существующей пространственной системы общего образования в Елабужском муниципальном районе было проведено моделирование различных альтернативных вариантов на предмет соотношения расходов и временных затрат (уровень транспортной усталости школьников при передвижении к месту обучения). Строились транспортная модель распределения школьников и модель размещения образовательных учреждений, на основе этого рассчитывались расходы на каждом этапе с учетом концентрации школьников после их перевозки до школы. Моделирование производилось по ситуации на начало 2017/2018 уч.г. Первичными элементами анализа выступили населенные пункты, в которых имеется детское население школьного возраста (от 7 до 17 лет), согласно методологии расчета показателей реализации основных общеобразовательных программ начального общего образования и программ основного общего образования⁴. При этом отсекались населенные пункты с нормированной численностью детского населения менее 2 чел. Близко расположенные населенные пункты, расстояние между которыми не превышает 3 км, рассматривались как единое территориальное образование (например, с. Новая Мурзиха и с. Старая Мурзиха; с. Старый Куклюк, с. Студеный Ключ, с. Черкасово и с. Новый Куклюк).

В качестве исходных данных было получено несколько матриц дистанций (*distance matrix*) между населенными пунктами. Первая матрица построена по кратчайшему расстоянию между населенными пунктами по автомобильным дорогам. Вторая матрица – по минимальным временным затратам при передвижении по существующим автомобильным дорогам. Расчет времени осуществлялся в зависимости от типа дороги, ее уклона и качества дорожного покрытия, а также учитывалось ограничение скоростного режима перевозки де-

⁴ См. Приказ Федеральной службы государственной статистики от 29 ноября 2018 г. № 705 «Об утверждении официальной статистической методологии по расчету основных показателей статистики образования и культуры» (URL: <https://docs.cntd.ru/document/551882283>).

тей (не более 60 км/ч⁵ с поправкой на снижение скорости при маневрировании). Третья матрица – физические расстояния между населенными пунктами. Матрицы строились с использованием сервиса Openrouteservice API V2 (от Heidelberg Institute for Geoinformation Technology).

Для целей моделирования было произведено распределение детей разного школьного возраста по населенным пунктам муниципального района, а также осуществлена их привязка к конкретной школе. Определение численности детей разного возраста по населенным пунктам в текущем году затруднено и возможно с большей степенью достоверности лишь после проведения переписи населения. В связи с этим для расчета данного показателя использовался набор данных с сайта Росстата (БД ПМО), информационных ресурсов сельских администраций района, портала размещения информации о государственных (муниципальных) учреждениях⁶.

В качестве базовых условий при моделировании использовались нормы градостроительного проектирования и свод правил по планировке и застройке городских и сельских поселений (100%-й охват детей начальным и основным общим образованием; 75%-й охват полным средним образованием)⁷. В настоящее время в связи с отсутствием в некоторых школах ступени полного среднего образования дети вынуждены отказываться от этого уровня образования или искать варианты в других поселениях.

Для расчета стоимостных затрат при организации системы общего образования были разработаны две модели: расходов по содержанию учебного заведения (дополнительно к расчетам по рис. 3–5) и расходов при перевозке детей к школам и обратно.

⁵ См. п. 10.3 Постановления Правительства Российской Федерации от 23.10.1993 № 1090 (ред. от 04.12.2018) «О Правилах дорожного движения» (URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/).

⁶ URL: <https://bus.gov.ru>.

⁷ См.: *СП 42.13330.2016*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209>.

Модель объектов образования. Эта модель строилась на основе данных, полученных при анализе результатов деятельности школ и использования их имущества (см. табл. 1). Расчеты по модели осуществлялись по числу детей (x), которые будут концентрироваться в каждой школе после их распределения (перевозки):

$$Z^s \quad r \quad p \quad s_t \quad a_s,$$

где Z^s – затраты на образование детей в школе; r – расходы на содержание образовательного учреждения; p – прочие расходы в образовательном учреждении; s_t – оплата труда работников образовательного учреждения; a_s – амортизация зданий и сооружений образовательного учреждения.

Важно заметить, что по представленным формулам впоследствии будут рассчитываться общие затраты в образовательных организациях по соответствующим категориям расходов.

Расходы на содержание образовательного учреждения включают оплату услуг связи, коммунальных услуг, работ, услуг по содержанию имущества, прочих работ и услуг по содержанию. На одного учащегося расходы определялись на основе полученного уравнения (см. рис. 4):

$$r \quad (127,32 \ x^{0,545}) \ x.$$

Прочие расходы включают затраты на амортизацию основных средств и нематериальных активов, кроме зданий и сооружений, расходование материальных запасов. Данные расходы также рассчитывались на одного учащегося (см. рис. 5):

$$p \quad (70,4 \ x^{0,43}) \ x.$$

При этом в дальнейшем затраты на содержание образовательного учреждения, амортизацию основных средств и иных нематериальных активов будут рассчитываться как переменные в зависимости от числа учеников. Это связано с тем, что в более крупных объектах образования (с учетом их мощности) расходы в расчете на каждого учащегося оказываются заметно меньшими. Крупные инфраструктурные объекты образования позволяют более эффективно исполь-

зовать имеющееся пространство в сравнении с небольшими по мощности объектами. Но возможны отклонения от данной закономерности, в случае если в муниципалитете имеется объект образования, а фактическая его наполняемость не соответствует мощности. Таким образом, содержание и амортизация объекта не будут коррелировать с численностью учащихся в нем. Однако моделью предусматривается использование таких инфраструктурных объектов образования, которые по мощности будут в целом соответствовать фактическому спросу. Это может быть достигнуто не только вводом новых объектов образования или реконструкцией существующих, но также путем использования уже существующих объектов в качестве многофункциональных центров (в том числе для целей культуры, искусства и просвещения, спорта, физической культуры и досуга и т.д.) при условии недостаточной наполняемости классов и низкой степени использования имущественного комплекса.

Необходимое количество работников образовательных организаций (включая педагогов, руководящий состав и вспомогательный персонал) при различной их наполняемости определялось исходя из корреляционно-регрессионного анализа имеющихся данных по числу занятых работников на одного ученика в сельских школах района. Расходы на оплату их труда и отчисления с заработной платы в фонды определялись на основе полученного уравнения (см. рис. 3):

$$s_t = (1433,1 x^{0,566}) x.$$

Амортизация зданий и сооружений образовательного учреждения определялась на основе укрупненных нормативов цен строительства объектов народного образования⁸ с учетом коэффициента перехода к уровню цен рассматриваемого субъекта, коэффициента регионально-климатических условий осуществления строительства и нормативных сроков эксплуатации зданий.

⁸ Согласно «НЦС 81-02-03-2017. Укрупненные нормативы цены строительства. Сборник № 03. Объекты народного образования (с Изменением)» (URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293744/4293744758.pdf>).

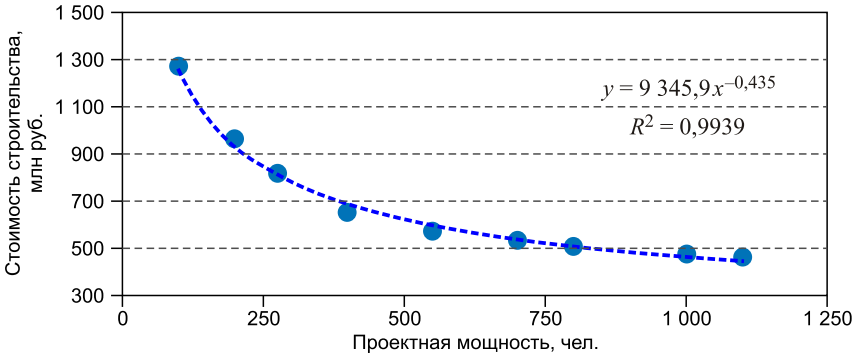


Рис. 6. Распределение стоимости строительства одной школы в зависимости от проектной мощности объекта

В ходе анализа расходов на строительство общеобразовательных организаций (школ) из расчета на одно место в Республике Татарстан (рис. 6) было получено следующее уравнение:

$$a_s (9345,9 x^{-0,435}) x.$$

Транспортная модель. Модель опирается на число детей, которые проживают в населенном пункте без школы и, соответственно, нуждаются в доставке к населенному пункту с образовательными функциями. Расчет строился в зависимости от числа детей к перевозке, времени ее осуществления и расстояния. Число детей определяло требуемое количество и тип транспортных средств. В качестве ограничителя по размерности автобусов использовались лимиты от 5 до 45 мест. Определение требуемого количества автобусов и их вместимости осуществлялось в зависимости от числа детей к перевозке по каждому маршруту:

$$Z^t = m (f + a_b + s_d),$$

где Z^t – затраты на перевозку детей по маршруту; m – число задействованных автобусов; f – расходы на ГСМ и содержание транспортного средства; a – амортизация транспортного средства; s_d – оплата труда водителей.

Расходы на горюче-смазочные материалы и содержание транспортного средства определялись на основе длины маршрута перевоз-

ки в обе стороны с учетом коэффициента удлинения. Затраты на топливо рассчитывались в зависимости от расхода топлива каждым транспортным средством (литров на 100 км) и средних потребительских цен на автомобильное топливо в ближайшем населенном пункте, где Росстатом регистрируются цены (г. Набережные Челны – 37,58 руб./л в среднем за январь-декабрь 2017 г. на бензин АИ-92/95 и дизельное топливо). Средний расход топлива в зависимости от количества пассажирских мест в транспортном средстве определялся на основе корреляционно-регрессионного анализа (рис. 7) технических характеристик по более чем 100 маркам отечественных и зарубежных автобусов⁹. Расходы на прочие составляющие (смазочные материалы, страхование, ремонт и обслуживание, содержание, технический осмотр, прочие расходные материалы) учитывались через дополнительный коэффициент:

$$f(d_r, n_f, p_f) k,$$

где d_r – расстояние перевозки; n_f – норма расхода топлива; p_f – средняя стоимость топлива; k – коэффициент дополнительных расходов на содержание автобуса.

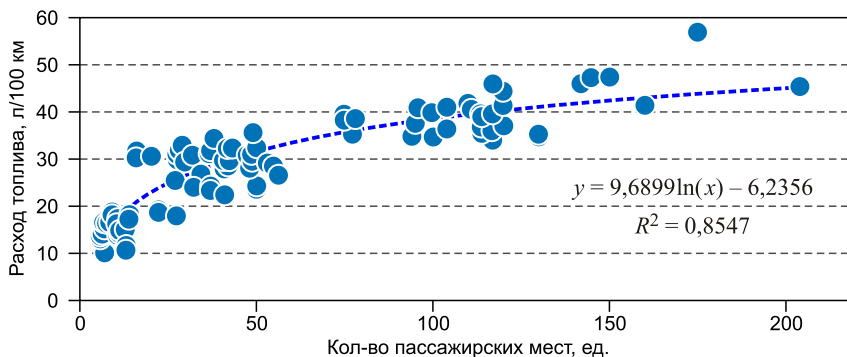


Рис. 7. Распределение расхода топлива автобуса в зависимости от количества пассажирских мест

⁹ На основе данных, представленных в: *Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте*. – Ростов-н/Д.: Феникс, 2013.

Объем амортизации транспортного средства определялся на основе пробега и полной учетной стоимости (цены приобретения) транспортного средства в зависимости от числа пассажирских мест:

$$a_b = p_b \frac{d_r \cdot h}{n_s},$$

где p_b – стоимость транспортного средства (автобуса); $d_r \cdot h$ – расстояние, пройденное за год; n_s – предельно допустимый пробег транспортного средства.

В качестве предельного пробега транспортного средства использовался критерий в 600 тыс. км за 10 лет, так как уже при 500 тыс. км начинает увеличиваться количество отказов автобусов при междугородних перевозках [6], что ведет к существенному усилению рисков в системе¹⁰.

Расходы на оплату труда водителей определялись на основе средней заработной платы данной категории работников в системе образования, а также пропорционально затратам времени на транспортировку с учетом коэффициента дополнительных временных затрат:

$$s_d = n_d \frac{t \cdot k_d}{t_{\max}} \cdot k_s \cdot k_o,$$

где n_d – нормированный показатель средней оплаты труда водителя в системе образования региона; t – количество отработанных человеко-часов по транспортировке; k_d – коэффициент дополнительных трудозатрат (простой, порожние перевозки к месту посадки, до заправочных станций и сервисных пунктов и проч.); t_{\max} – годовой фонд рабочего времени при 40-часовой рабочей неделе; k_s – коэффициент на отчисления с заработной платы в фонды; k_o – коэффициент на накладные расходы при обслуживании водителей.

Средняя начисленная заработная плата работников организаций, полностью отработавших отчетный месяц, в профессиональной категории «водители и операторы подвижного оборудования» по виду экономической деятельности «образование» в Республике Татарстан состав-

¹⁰ Согласно исследованию Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. См.: *Перевозка детей: автобусам снижают возраст*. – URL: <http://5koleso.ru/avtopark/perevozka-detey-avtobusam-snizhayut-vozrast>.

вила в октябре 2017 г. 18 804,93 руб.¹¹ Годовой фонд рабочего времени при 40-часовой рабочей неделе в 2017 г. составлял 1 973 чел.-ч.

В качестве критериев оценки оптимальности территориальной организации системы общего образования использовались

- расходы на образование детей;
- расходы на транспортировку детей;
- транспортная нагрузка на детей;
- численность работников школы и нагрузка на них;
- количество и средняя наполняемость школ;
- доля детей, проживающих вне зоны минимальной транспортной доступности общеобразовательного учебного заведения.

Определение оптимальных потенциальных вариантов территориальной организации системы общего образования осуществлялось отдельно для каждой ступени образования, так как они различаются по требованиям минимальной транспортной доступности. Оптимальным представляется вариант, при котором достигается максимизация численности обучающихся в учебных заведениях при наименьших транспортных расходах и минимальной транспортной нагрузке на школьников. Исходя из этих пунктов авторами были представлены модели в контексте административных подходов, критериев плотности населенных пунктов и текущей возможности транспортной сети района.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ: МОДЕЛИ

Модель 1: текущая организация. Моделирование ситуации при текущей территориальной организации общего образования (М.1а) выявило общие расходы в размере 168,8 млн руб. в ценах 2017 г.¹², из которых транспортные расходы составили 5,8 млн руб. (3,4% от сово-

¹¹ См. данные об уровне заработной платы по профессиональным группам (на основе материалов выборочного обследования организаций о заработной плате работников по профессиям и должностям, октябрь 2017 г.), представленные в Единой межведомственной информационно-статистической системе (URL: <https://www.fedstat.ru>).

¹² Далее в ценах 2017 г.

купных расходов). Общие расходы на одного учащегося – 146,6 тыс. руб. Перевозка потребуется 405 детям (35,2% от числа учащихся), а транспортная нагрузка на одного перевозимого ребенка составит 53,4 ч (0,61% от суточного фонда времени¹³). Распределение осуществляется в 13 учебных заведений (табл. 2), в которых численность работников составит 333 чел., что соответствует уровню обеспеченности в 2,9 работника на 10 учащихся.

При текущем распределении около 3,1% детей перевозятся с нарушением уровня минимальной транспортной доступности. Это касается начального образования, перевозка в рамках которого должна укладываться в 15 мин. Пренебрежение данным требованием позволяет существенно сократить расходы по содержанию дополнительных образовательных единиц. Вместе с тем такой подход противоречит принципам равенства в отношении доступности общего образования и может вести к явлениям социальной эксклюзии.

Организация четырех начальных школ в отдаленных населенных пунктах (М.1b) сократит долю учащихся, перевозимых с превышением установленного норматива, до 0,6%, но потребует при этом еще более 18 млн руб. ежегодно. В ходе анализа данная модель подвергалась дополнительным трансформациям: все основные школы (где отсутствуют 10–11-е классы) были преобразованы в средние (с полным набором всех ступеней образования), что позволило сократить общие расходы почти на 0,5 млн руб., а также уменьшить число перевозимых детей на 5,2%. Вариант, при котором также организован полный образовательный процесс в с. Хлыстово и туда переориентированы потоки из с. Большая Качка и с. Большая Тарловка (вместо г. Елабуга), позволил сократить число перевозимых школьников до 347 чел., но оказался более затратным (170,9 млн руб.). Данные трансформации дали возможность установить целесообразность обеспечения полного общего образования в населенных пунктах с численностью населения более 400 чел. Также в последующих моделях было принято решение об исключении Елабуги в качестве центра оказания данных услуг с целью достижения большего уровня концентрации школьников в сельских населенных пунктах.

¹³ Рассчитывалось от 1440 мин в сутках.

Таблица 2

Модель 1. Действующая пространственная организация общего образования и распределение учащихся между школами на начало 2017/2018 уч.г.

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение		
			Начальная школа	Средняя и старшая школа	
				5–9-е классы	10–11-е классы
1	Бехтерево	105	Бехтерево, Гари	Бехтерево, Гари	Бехтерево, Гари
2	Большой Шурняк	73	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Тат. Дюм-Дюм	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Тат. Дюм-Дюм	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Тат. Дюм-Дюм, Стар. Куклюк, Умяк, Бол. Елово
3	Елабуга	605	Елабуга	Елабуга, Хлыстово, Бол. Тарловка, Бол. Качка	Елабуга, Хлыстово, Бол. Тарловка, Бол. Качка
4	Костенеево	99	Казыли, Костенеево, Котловка, Свиногорье	Казыли, Костенеево, Котловка, Свиногорье	Казыли, Костенеево, Котловка, Свиногорье, Яковлево, Нов. Мурзиха, Токмашка, Покровское
5	Лекарево	101	Лекарево, Бол. Армалы, Малореченский	Лекарево, Бол. Армалы, Малореченский	Лекарево, Бол. Армалы, Малореченский, Морты
6	Морты	69	Морты	Морты	–
7	Поспелово	95	Поспелово, Мальцево	Поспелово, Мальцево	Поспелово, Мальцево, Тарловка
8	Старый Куклюк	33	Стар. Куклюк, Умяк	Стар. Куклюк, Умяк	–

Окончание табл. 2

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение		
			Начальная школа	Средняя и старшая школа	
				5–9-е классы	10–11-е классы
9	Старый Юраш	87	Альметьево, Стар. Юраш	Альметьево, Стар. Юраш	Альметьево, Стар. Юраш
10	Танайка	236	Танайка, Колосовка	Танайка, Колосовка	Танайка, Колосовка
11	Хлыстово	45	Хлыстово, Бол. Тарловка, Бол. Качка	–	–
12	Яковлево	104	Яковлево, Бол. Елово, Нов. Мурзиха, Токмашка, Покровское	Яковлево, Бол. Елово, Нов. Мурзиха, Токмашка, Покровское	–
13	Тарловка	38	Тарловка	Тарловка	–

Модель 2: минимизация транспортной нагрузки (MINTRL²⁵⁰).

Данная модель предполагает наличие средней школы в каждом населенном пункте (или группе близко расположенных пунктов) с численностью жителей более 250 чел., а аттракция от малонаселенных мест определяется через расстояние к ближайшей школе.

При такой модели общие расходы составят 222,3 млн руб., из которых 0,8% – транспортные. Общие расходы на одного учащегося составят 193,1 тыс. руб. Перевозка потребуется всего 80 детям, или 7% от числа учащихся, а транспортная нагрузка на одного перевозимого ребенка составит 52,1 ч (0,59% от суточного фонда времени). Согласно этой модели распределение осуществляется в 21 учебное заведение (табл. 3), а численность работников составит 461 чел. (четыре работника на 10 учащихся). Менее 0,45% детей будут добираться до школы с превышением требований минимальной транспортной доступности.

Таблица 3

**Модель 2. Пространственная организация общего образования
и распределение учащихся между школами согласно модели
минимальной транспортной нагрузки**

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение	
			Начальная школа	Средняя и старшая школа
1	Альметьево	26	Альметьево	Альметьево
2	Бехтерево	76	Бехтерево	Бехтерево
3	Бол. Качка	33	Бол. Качка	Бол. Качка
4	Бол. Елово	29	Бол. Елово	Бол. Елово
5	Бол. Шурняк	47	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Умяк	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Умяк
6	Гари	29	Гари	Гари
7	Колосовка	26	Колосовка	Колосовка
8	Костенеево	87	Казыли, Костенеево, Котловка, Покровское, Свиногорье	Казыли, Костенеево, Котловка, Покровское, Свиногорье
9	Лекарево	52	Лекарево, Бол. Армалы	Лекарево, Бол. Армалы
10	Малореченский	38	Малореченский	Малореченский
11	Мальцево	28	Мальцево	Мальцево
12	Морты	80	Морты	Морты
13	Нов. Мурзиха	49	Нов. Мурзиха, Токмашка	Нов. Мурзиха, Токмашка
14	Поспелово	67	Поспелово	Поспелово
15	Стар. Куклюк	33	Стар. Куклюк	Стар. Куклюк
16	Стар. Юраш	61	Стар. Юраш	Стар. Юраш
17	Танайка	210	Танайка	Танайка
18	Тат. Дюм-Дюм	22	Тат. Дюм-Дюм	Тат. Дюм-Дюм
19	Хлыстово	77	Хлыстово, Бол. Тарловка	Хлыстово, Бол. Тарловка
20	Яковлево	43	Яковлево	Яковлево
21	Тарловка	38	Тарловка	Тарловка

Данная модель применима при высоком уровне доходности бюджета и имела бы место в период активного развития сельской местности. В настоящее время с учетом депопуляционных тенденций и концентрационных процессов, а также стягивания населения в крупные города она выглядит несостоятельной из-за высокого уровня необоснованных затрат.

Модель 3: целостность функций административных центров (IFAC). Модель предполагает наличие средней школы в каждом административном центре сельского поселения, что необходимо для обеспечения в нем полного набора минимального функционала местного уровня. Такой подход позволит обеспечить каждой территориальной общественной системе (ТОС) унифицированный состав элементов, инфраструктуры и функций. Аттракция к школам в таком случае строится согласно муниципальному делению по принципу административной привязки.

Такая модель потребует из бюджета 192,2 млн руб., около 97,5% которых пойдут непосредственно на обеспечение образовательного процесса. Общие расходы на одного учащегося составят 166,9 тыс. руб., а перевозка потребуется 263 школьникам – 22,8% от числа учащихся. Распределение в данной модели происходит по 16 школам (табл. 4). Таким образом, транспортная нагрузка на одного перевозимого ребенка составит 67,3 ч (0,77% от суточного фонда времени). В среднем на одну школу потребуется 24,2 работника, общее число которых в системе достигнет 387 чел. (3,4 работника на 10 учащихся). Около 3,4% детей будут добираться до школы с превышением требований минимальной транспортной доступности.

Данная модель не имеет явных преимуществ, кроме административной привязки и возможности систематизации внутренних процессов в каждой ТОС. Высокий показатель транспортной нагрузки свидетельствует о критических противоречиях в административно-территориальном делении исследуемого района или транспортной несвязанности отдельных элементов в рамках одной административно-территориальной единицы.

Таблица 4

**Модель 3. Пространственная организация общего образования
и распределение учащихся между школами согласно модели
функциональной целостности**

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение	
			Начальная школа	Средняя и старшая школа
1	Альметьево	26	Альметьево	Альметьево
2	Бехтерево	105	Бехтерево, Гари	Бехтерево, Гари
3	Бол. Качка	87	Бол. Качка, Бол. Тарловка, Малореченский	Бол. Качка, Бол. Тарловка, Малореченский
4	Бол. Елово	29	Бол. Елово	Бол. Елово
5	Бол. Шурняк	47	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Умяк	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Умяк
6	Костенеево	87	Казыли, Костенеево, Котловка, Свиногорье	Казыли, Костенеево, Котловка, Свиногорье
7	Лекарево	52	Лекарево, Бол. Армалы	Лекарево, Бол. Армалы
8	Морты	80	Морты	Морты
9	Нов. Мурзиха	49	Нов. Мурзиха, Токмашка, Покровское	Нов. Мурзиха, Токмашка, Покровское
10	Поспелово	95	Поспелово, Мальцево	Поспелово, Мальцево
11	Стар. Куклюк	33	Стар. Куклюк	Стар. Куклюк
12	Стар. Юраш	61	Стар. Юраш	Стар. Юраш
13	Танайка	298	Танайка, Колосовка, Хлыстово	Танайка, Колосовка, Хлыстово
14	Тат. Дюм-Дюм	22	Тат. Дюм-Дюм	Тат. Дюм-Дюм
15	Яковлево	43	Яковлево	Яковлево
16	Тарловка	38	Тарловка	Тарловка

Модель 4: минимальный пассажирооборот (MINTRF³⁰⁰). Данная модель предполагает содержание средних учебных заведений в населенных пунктах (или группе близко расположенных пунктов) с численностью не менее 300 жителей при условии минимизации пассажирооборота в зоне их аттракции.

Таблица 5

Модель 4. Пространственная организация общего образования и распределение учащихся между школами согласно базовой модели минимального пассажирооборота

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение	
			Начальная школа	Средняя и старшая школа
1	Бехтерево	105	Бехтерево, Гари	Бехтерево, Гари
2	Бол. Качка	33	Бол. Качка	Бол. Качка
3	Бол. Шурняк	69	Бол. Шурняк, Тат. Дюм-Дюм, Кр. Горка, Умяк	Бол. Шурняк, Тат. Дюм-Дюм, Кр. Горка, Умяк
4	Костенеево	87	Казыли, Костенеево, Котловка, Свиногорье	Казыли, Костенеево, Котловка, Свиногорье
5	Лекарево	52	Лекарево, Бол. Армалы	Лекарево, Бол. Армалы
6	Малореченский	38	Малореченский	Малореченский
7	Морты	80	Морты	Морты
8	Нов. Мурзиха	49	Нов. Мурзиха, Токмашка, Покровское	Нов. Мурзиха, Токмашка, Покровское
9	Поспелово	95	Поспелово, Мальцево	Поспелово, Мальцево
10	Стар. Куклюк	33	Стар. Куклюк	Стар. Куклюк
11	Стар. Юраш	87	Стар. Юраш, Альметьево	Стар. Юраш, Альметьево
12	Танайка	236	Танайка, Колосовка	Танайка, Колосовка
13	Хлыстово	77	Хлыстово, Бол. Тарловка	Хлыстово, Бол. Тарловка
14	Яковлево	72	Яковлево, Бол. Елово	Яковлево, Бол. Елово
15	Тарловка	38	Тарловка	Тарловка

Согласно данной модели (М.4а) в сельской местности Елабужского муниципального района будет функционировать 15 среднеобразовательных школ (табл. 5), образовательный процесс в которых будет обходиться в 188,9 млн руб., в том числе 3,1 млн (1,6% от совокупных расходов) будет расходоваться на перевозку детей (239 чел.) к месту учебы и обратно. Транспортная нагрузка на одного школьника окажется менее существенной, чем в моделях 1–3, и составит 47,4 ч (0,54% от суточного фонда времени). На каждого школьника будет приходиться 3,3 работника, общее число которых проектируется в 383 чел.

При такой модели 1,5% школьников вынуждены будут добираться до школы с превышением требований минимальной транспортной доступности. Сокращение данного критерия до уровня 0,4% потребует содержания еще двух начальных школ в населенных пунктах Гари и Мальцево, т.е. там, где норматив в 15 мин не выдерживается, и роста совокупных расходов до 197,8 млн руб. (модель М.4б).

Таким образом, модель оказалась эффективной с точки зрения оптимизации транспортной нагрузки, которая существенно уменьшилась благодаря принципу минимизации пассажиро-километров. Принцип обеспечивает сокращение как числа перевозимых учащихся, так и среднего расстояния перевозки. В то же время данная модель не позволяет существенно снизить общие расходы на образование в районе, что частично связано с обеспечением полного цикла образования в каждой из имеющихся школ. Во многих из них не достигаются минимальные объемы (не менее 100 учащихся) для организации более эффективного и рационального образовательного процесса.

Модель 5: максимизация уровня концентрации учащихся (MAXCON²⁵⁰). В данной модели устанавливается наличие школ в населенных пунктах (или группе близко расположенных пунктов) с совокупной численностью более 250 жителей. Но при этом отбирается минимальное число школ, при котором достигаются условия удовлетворения нормативам транспортной доступности (за исключением случаев вынужденного отклонения от них). В связи с этим отдельно формируется сеть учебных заведений только с начальным образованием. Распределение потоков учащихся происходит по принципу максимизации их концентрации в 15- и 30-минутных зонах аттракции.

При использовании данной модели сеть общеобразовательных учреждений в сельской местности муниципального района может быть сокращена до 12 единиц (М.5а) (табл. 6). Это позволит заметно уменьшить расходы на образовательный процесс (150,8 млн руб.), но потребует увеличения транспортных расходов (до 10,3 млн руб., или 6,4% от суммарных расходов). Общая сумма затрат по обеим статьям будет снижена, что достигается за счет эффекта концентрации и агломерации.

В пяти школах будет достигнут порог наполняемости в 100 чел., а в семи населенных пунктах будут функционировать только начальные школы с целью обеспечения нормативного уровня транспортной доступности. Всего перевозка потребуется 634 учащимся (55,1%) при средней транспортной нагрузке на одного школьника 62,2 ч (0,71% от

Таблица 6

Модель 5. Пространственная организация общего образования и распределение учащихся между школами согласно модели максимальной концентрации учащихся

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение	
			Начальная школа	Средняя и старшая школа
1	Бехтерево	200	Бехтерево, Поспелово, Гари	Бехтерево, Поспелово, Гари, Мальцево, Тарловка
2	Бол. Шурняк	39	Бол. Шурняк, Бол. Елово, Тат. Дюм-Дюм, Кр. Горка, Умяк	–
3	Гари	12	Гари	–
4	Колосовка	42	Колосовка, Хлыстово, Бол. Тарловка	–
5	Костенеево	159	Казыли, Костенеево, Котловка, Свиногорье, Яковлево	Казыли, Костенеево, Котловка, Покровское, Свиногорье, Нов. Мурзиха, Токмашка, Яковлево

Окончание табл. 6

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение	
			Начальная школа	Средняя и старшая школа
6	Лекарево	265	Бол. Качка, Лекарево, Бол. Армалы, Малореченский, Морты	Бол. Качка, Лекарево, Бол. Армалы, Малореченский, Морты, Колосовка, Хлыстово, Бол. Тарловка
7	Мальцево	11	Мальцево	–
8	Нов. Мурзиха	20	Нов. Мурзиха, Токмашка, Покровское	–
9	Стар. Куклюк	143	Стар. Куклюк	Бол. Шурняк, Бол. Елово, Стар. Куклюк, Тат. Дюм-Дюм, Кр. Горка, Умяк, Стар. Юраш, Альметьево
10	Стар. Юраш	35	Стар. Юраш, Альметьево	–
11	Танайка	210	Танайка	Танайка
12	Тарловка	15	Тарловка	–

суточного фонда времени). На каждого школьника будет приходиться 2,7 работника, общее число которых проектируется в 307 чел. В связи с наличием населенных пунктов, отдаленных от основной авто-транспортной сети, в модель заложено функционирование нескольких малокомплектных начальных школ с численностью учащихся менее 15 чел. Несмотря на это, 1,6% школьников будут перевозиться к местам учебы с превышением норматива минимальной транспортной доступности. Ввод еще одной начальной школы в п. Малореченский (модель М.5b) позволит сократить данный показатель до 1,1%.

Модель 6: кластерная организация на основе матрицы дистанций (CLUDIS). В основу модели положено распределение потоков внутри отдельных кластерных формирований, полученных в ходе построения дендрограммы населенных мест по временной транспортной доступности (рис. 8). Кластеры формируются таким

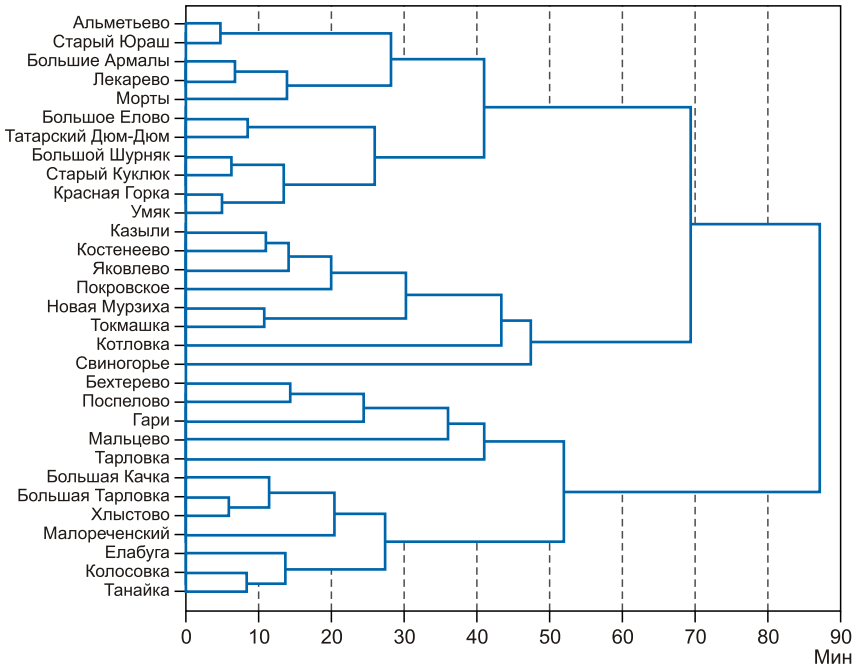


Рис. 8. Дендрограмма временной транспортной доступности населенных мест

Примечание: использован метод полной связи – «принцип дальнего соседа» (complete linkage); за меру расстояния взято расстояние Чебышева (Chebychev distance metric)

образом, чтобы обеспечить максимальный показатель интегральной транспортной доступности внутри каждого из них. Начальные школы организуются в центрах с 15-минутной доступностью до каждого элемента кластера, основные и средние школы – в центрах с 30-минутной доступностью. В качестве центра размещения школы в кластерном формировании выбирается либо наиболее крупный населенный пункт, либо имеющий наиболее центральное положение – в зависимости от того, при каком из вариантов достигается минимальный объем пассажирооборота.

В базовом варианте модели совокупные расходы на образовательный процесс и транспортировку детей составили 180,8 млн руб.,

причем 2,4% будет приходиться на организацию перевозки и распределения 365 школьников по 15 учебным заведениям. Всего на одного учащегося расходы в системе образования составят 157,1 тыс. руб.

Система образовательных учреждений будет включать пять начальных школ, которые необходимы для обеспечения минимальной транспортной доступности начального образования. Это позволит удержать удельный вес учащихся, перевозимых с превышением норм транспортной доступности, на уровне не более 0,6%. Транспортная нагрузка составит в среднем 48,9 ч на каждого перевозимого школьника, что сопоставимо с 0,56% от суточного фонда времени. Для обучения и обслуживания всей численности детей в школах потребуется 363 работника, т.е. 3,2 работника на каждого учащегося.

Данная модель достаточно гибкая и может иметь несколько вариантов в зависимости от степени концентрации и уровня пространственной конгломерации системы образования. Это позволяет варьировать показатель транспортной нагрузки за счет обеспечения работы дополнительных объектов в предполагаемой структуре. Так, модель М.6b исключает обособленную школу в с. Большое Елово, потоки на которую переориентируются в с. Большой Шурняк. В модели М.6с не предусмотрено наличие школы в с. Лекарево (потоки отсюда замыкаются на с. Морты), а в модели М.6d (табл. 7) также отсутствует

Таблица 7

**Модель 6. Пространственная организация общего образования
и распределение учащихся между школами согласно кластерной модели
на основе матрицы дистанций**

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение	
			Начальная школа	Средняя и старшая школа
1	Бехтерево	200	Бехтерево, Пospelово	Бехтерево, Пospelово, Мальцево, Гари
2	Бол. Шурняк	131	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Умяк, Стар. Куклюк, Бол. Елово, Тат. Дюм-Дюм	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Умяк, Стар. Куклюк, Бол. Елово, Тат. Дюм-Дюм

Окончание табл. 7

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение	
			Начальная школа	Средняя и старшая школа
3	Гари	12	Гари	–
4	Костенеево	163	Казыли, Костенеево, Котловка, Покровское, Свиногорье, Яковлево	Казыли, Костенеево, Котловка, Покровское, Свиногорье, Яковлево, Нов. Мурзиха, Токмашка
5	Малореченский	15	Малореченский	–
6	Мальцево	11	Мальцево	–
7	Морты	132	Лекарево, Бол. Армалы, Морты	Лекарево, Бол. Армалы, Морты
8	Нов. Мурзиха	16	Нов. Мурзиха, Токмашка	–
9	Стар. Юраш	87	Стар. Юраш, Альметьево	Стар. Юраш, Альметьево
10	Танайка	236	Танайка, Колосовка	Танайка, Колосовка
11	Хлыстово	134	Хлыстово, Бол. Тарловка, Бол. Качка	Хлыстово, Бол. Тарловка, Бол. Качка, Тарловка, Малореченский
12	Тарловка	15	Тарловка	–

школа в с. Пospelовo (потоки направляются в с. Бехтерево). Вся цепочка преобразований позволит сократить общие расходы до 159,1 млн руб., но потребует увеличения транспортной нагрузки на детей до 53,7 ч (0,61% от суточного фонда времени). Таким образом, при сопоставимой транспортной нагрузке в действующей сегодня модели может быть получена экономия в размере почти 10 млн руб. в год по сравнению с моделью 1, при том что дополнительно минимизируется доля детей, перевозимых с превышением норматива доступности.

Модель 7: минимизация количества школ в кластерной системе (MINSCHCLU). При повышении уровня кластеризации возможно получение еще одной модели, которая будет направлена на по-

иск сценария с наименьшим количеством школ при одновременном соблюдении нормативных требований минимальной транспортной доступности. Размещение школ в таком случае предполагается в относительно крупных населенных пунктах, имеющих при этом высокие значения транспортной доступности в рамках своего кластера, что позволяет обеспечить обширную зону аттракции и достигнуть максимального территориального охвата из ограниченного числа мест.

В связи с узкими временными рамками для достижения центров начального образования их количество в модели – 13 единиц с учетом Елабуги (табл. 8) – сопоставимо с количеством в других вариантах моделей. Более широкие возможности при организации системы среднего и общего образования позволяют ограничиться выделением трех-четырёх центров с соответствующими образовательными функциями.

Несмотря на то что в системе минимизируется количество средних общеобразовательных учреждений, это не позволяет достигнуть

Таблица 8

**Модель 7. Пространственная организация общего образования
и распределение учащихся между школами согласно модели
минимизации числа школ в кластерах**

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение	
			Начальная школа	Средняя и старшая школа
1	Бол. Шурняк	53	Бол. Шурняк, Кр. Горка, Умяк, Тат. Дюм-Дюм, Стар. Куклюк, Бол. Елово	–
2	Гари	12	Гари	–
3	Костенеево	180	Казыли, Костенеево, Котловка, Покровское, Свиногорье, Яковлево	Казыли, Костенеево, Котловка, Покровское, Свиногорье, Нов. Мурзиха, Токмашка, Яковлево, Бол. Елово
4	Малореченский	15	Малореченский	–
5	Мальцево	11	Мальцево	–

Окончание табл. 8

№	Размещение школ	Число учащихся	Распределение	
			Начальная школа	Средняя и старшая школа
6	Морты	245	Морты, Лекарево, Бол. Армалы	Морты, Лекарево, Бол. Армалы, Стар. Юраш, Альметьево, Бол. Шурняк, Кр. Горка, Умяк, Тат. Дюм-Дюм, Стар. Куклюк
7	Нов. Мурзиха	16	Нов. Мурзиха, Токмашка	–
8	Поспелово	200	Поспелово, Бехтерево	Поспелово, Бехтерево, Мальцево, Гари, Тарловка
9	Стар. Юраш	35	Стар. Юраш, Альметьево	–
10	Танайка	325	Танайка, Колосовка	Танайка, Колосовка, Малореченский, Хлыстово, Бол. Тарловка, Бол. Качка
11	Хлыстово	45	Хлыстово, Бол. Тарловка, Бол. Качка	–
12	Тарловка	15	Тарловка	–

существенного сокращения расходов на организацию всего образовательного процесса. Это является следствием необходимости содержания сети начальных учебных заведений с незначительным уровнем загрузки и низкими показателями эффективности. При внедрении данной модели функционирование всей системы обойдется в 156,3 млн руб. (на каждого учащегося – 135,7 тыс. руб.), из которых 6,8% потребует транспортно-логистическая составляющая.

Пассажиропоток составит 602 учащихся, а уровень транспортной нагрузки достигнет 66,4 ч на каждого из них (0,76% суточного фонда времени). В школах численность работников будет минимальной – 297 чел. (2,6 чел. на одного учащегося). Признаки социальной экс-

клюзии и изолированности детей в части доступности начального образования будут присущи 0,6% детей соответствующего возраста и статуса, перевозка которых займет больше времени, чем установлено нормативными требованиями.

Соотнесение моделей по трем ключевым индикаторам (рис. 9, табл. 9) с использованием точечных вычерчиваний 3D XYZ (3D Scatter-plot) позволило установить, что наиболее близки к оптимуму модели на основе минимизации пассажирооборота (M.4) и кластерного объединения (M.6, M.7). Модель, реализуемая сегодня (M.1a), достаточно близка к оптимальному варианту (M.6) по двум критериям, но при этом находится в плоскости моделей, сильно отклоняющихся

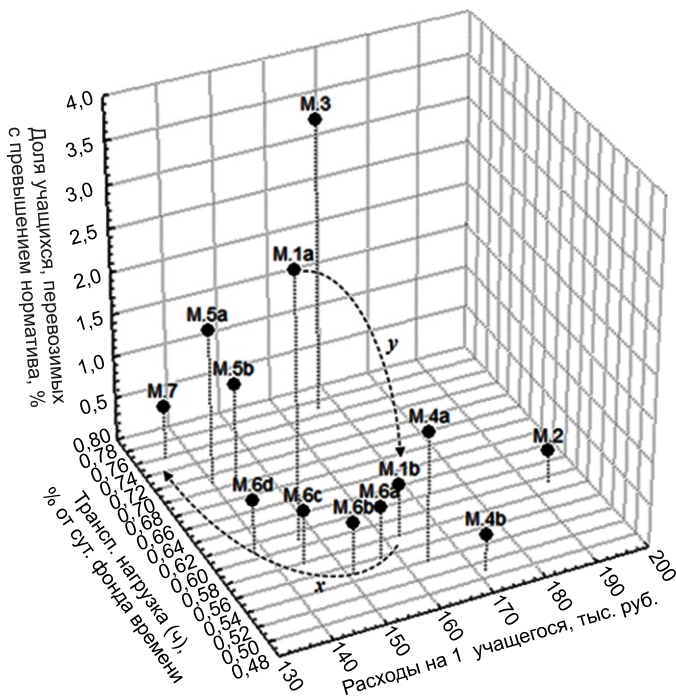


Рис. 9. Соотношение рассматриваемых моделей по ключевым индикаторам эффективности в трехмерной плоскости

Таблица 9

Показатель	Варианты моделей организации системы общего образования												
	1		2		3		4		5		6		7
	1a	1b	2	1b	3	4a	4b	5a	5b	6a	6b	6c	6d
Кол-во школ, ед.	12/1	16/1	21	16	15	17	12	13	15	14	13	12	12
В том числе:													
начальных	1	5	0	0	0	2	7	8	5	5	5	5	8
средних	11/1	11/1	21	16	15	15	5	5	10	9	8	7	4
Из них:													
до 15 чел.	0	3	0	0	0	2	3	4	4	4	4	4	4
16–50 чел.	3	3	13	8	5	5	4	4	1	1	1	1	3
51–100 чел.	5	8	7	6	8	9	0	0	6	4	2	1	1
более 100 чел.	4/1	2/1	1	2	2	1	5	5	4	5	6	6	4
Совокупные расходы в системе образования, млн руб.	168,8	187,5	222,3	192,2	188,9	197,8	161,1	166,5	180,8	173,9	166,6	159,1	156,3
В том числе:													
на образование	163,0	182,1	220,6	187,4	185,8	194,8	150,8	156,2	176,5	169,3	161,5	152,7	145,7
на транспорт	5,8	5,4	1,7	4,8	3,1	3,0	10,3	10,3	4,3	4,6	5,1	6,4	10,6
на 1 учащегося, тыс. руб.	146,6	162,9	193,1	166,9	164,1	171,8	140,0	144,6	157,1	151,0	144,7	138,2	135,7

Моделирование оптимизации сети школ в условиях депопуляции сельского населения
(на примере Елабужского района Республики Татарстан)

Окончание табл. 9

Показатель	Варианты моделей организации системы общего образования													
	1		2		3		4		5		6			7
	1a	1b	2		3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b	6c	6d
Дети, для которых требуется перевозка:	405	352	80		263	239	216	634	619	365	393	429	495	602
численность, чел.														
уд. вес от всего числа учащихся, %	35,2	30,6	7,0		22,8	20,7	18,8	55,1	53,8	31,7	34,1	37,2	43,0	52,3
Транспортная нагрузка на 1 перевозимого ребенка: затрачиваемое время, ч	53,4	51,1	52,1		67,3	47,4	44,4	62,2	62,3	48,9	48,4	50,7	53,7	66,4
% от суточного фонда времени	0,61	0,58	0,59		0,77	0,54	0,51	0,71	0,71	0,56	0,55	0,58	0,61	0,76
Среднее расстояние перевозки 1 ребенка за год, км	2 247	2 187	1 934		2 679	1 693	1 638	2 665	2 675	1 921	1 936	2 077	2 349	2 967
Общее число работников всех категорий в школах, чел.	333	376	461		387	383	403	307	320	363	348	331	311	297
Кол-во работников на 10 учащихся	2,9	3,3	4,0		3,4	3,3	3,5	2,7	2,8	3,2	3,0	2,9	2,7	2,6
Кол-во работников на 1 школу	25,6	22,1	22,0		24,2	25,5	23,7	25,6	24,6	24,2	24,9	25,5	25,9	24,8
Доля учащихся, перевозимых с превышением норматива, %	3,1	0,6	0,4		3,4	1,5	0,4	1,8	1,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

от нормативов минимальной транспортной доступности. Перевод ее (см. рис. 9, путь y) в иную плоскость (M.1b), вероятно, будет сопровождаться увеличением расходов, что связано с необходимостью создания начальных малокомплектных школ.

Чем выше уровень пренебрежения нормативом транспортной доступности при организации сети образовательных учреждений, тем больше возможностей для варьирования показателями расходов. Таким образом, при сопоставимости по уровню транспортной доступности действующая сегодня модель оказывается более затратной, чем кластерные аналоги. Дальнейшее снижение расходов (см. рис. 9, путь x) возможно при условии сокращения сети образовательных учреждений и повышения транспортной нагрузки на перевозимых детей.

ВЫВОДЫ

Происходящие сегодня в России агломерационные и урбанизационные процессы, стягивание населения в крупные города (центры) и его концентрация в таких городах приводят к разрушению сложившейся системы расселения. На их фоне сопутствующим явлением становится утрата сельскими поселениями части функций и инфраструктуры, что связано с невозможностью содержания определенных объектов из-за их малой загруженности и неэффективности использования. Оптимизация пространственной организации системы образования возможна либо за счет управления пассажирскими потоками, либо за счет трансформации территориальной организации имеющейся инфраструктуры.

Сеть школьных учреждений, сформированная некогда на территории Елабужского района, была ориентирована на значительно большее число детей, а существующие мощности используются лишь на 34%. В такой ситуации можно говорить о наличии признаков низкой эффективности использования имущественного комплекса и организации образовательного процесса. Следствием этого становится принятие органами местного самоуправления решений о закрытии (объединении и слиянии) некоторых учебных заведений, а также оптимизационных решений на основе транспортных и логистических принципов, выраженных в организации системы пассажирских потоков к центрам оказания соответствующих социальных (об-

разовательных) услуг. С 2006 г. количество общеобразовательных организаций в сельских поселениях Елабужского муниципального района уменьшилось почти вдвое. При этом такая политика противоречит основным направлениям стратегического и пространственного развития района, но не является чем-то уникальным для него, так как характерна в целом для большей части страны. Также в ряде поселений не удовлетворяется требование минимальной транспортной доступности школ для учащихся.

Анализ действующей сети общеобразовательных учреждений района на предмет результатов деятельности и использования имущества позволил установить, что чем более периферийным является расположение сельской школы относительно центра, тем менее эффективно в ней используются образовательные ресурсы. При этом основная статья расходов, формируемая в школах, связана с оплатой труда, содержанием имущественного комплекса и амортизацией основных фондов.

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что определенный уровень оптимальности в содержании школ достигается при количестве учеников от 100–150 чел. Чем больше достигается уровень концентрации детей в одной школе, тем более эффективно используются финансовые средства на ее содержание и тем лучше сбалансирован образовательный процесс. Наиболее объективно эти связи описываются степенной функцией, а значит, на определенном уровне прирост концентрации не дает пропорционального эффекта и фактически становится бесполезным.

Для определения уровня оптимальности существующей пространственной системы общего образования в Елабужском муниципальном районе было проведено моделирование различных альтернативных вариантов на предмет соотношения расходов и временных затрат (уровень транспортной усталости школьников при передвижении к месту обучения). Строились транспортная модель распределения школьников и модель размещения образовательных учреждений, на этой основе рассчитывались расходы на каждом этапе с учетом концентрации школьников после перевозки.

В качестве исходных данных было получено несколько матриц дистанций (*distance matrix*) между населенными пунктами. Для расчета стоимостных затрат при организации системы общего образова-

ния были разработаны две модели: модель расходов на содержание учебного заведения и модель расходов на перевозку детей к школам и обратно.

Всего в ходе исследования было разработано шесть типов моделей, а также проанализирована модель, внедренная в муниципальном районе. В качестве основных критериев оценки оптимальности территориальной организации системы общего образования использовались расходы на образование и транспортировку детей, транспортная нагрузка на детей, а также доля детей, проживающих вне зоны минимальной транспортной доступности общеобразовательного учебного заведения.

Соотнесение моделей по трем ключевым индикаторам позволило установить, что наиболее близки к оптимуму модели на основе минимизации пассажирооборота и кластерного объединения. Модель, используемая сегодня, достаточно близка к оптимальному варианту по двум критериям, но при этом находится в плоскости моделей, существенно отклоняющихся от нормативов минимальной транспортной доступности. Перевод ее в иную плоскость будет сопровождаться увеличением расходов, что связано с необходимостью выполнения норматива транспортной доступности. Чем выше уровень пренебрежения нормативом транспортной доступности при организации сети образовательных учреждений, тем больше возможностей для варьирования показателями расходов. Таким образом, при сопоставимости по уровню транспортной доступности текущая модель оказывается более затратной, чем кластерные аналоги, а дальнейшее снижение расходов возможно при условии сокращения сети образовательных учреждений и повышения транспортной нагрузки на перевозимых детей.

В связи с этим следует отметить целесообразность рассмотрения механизмов совершенствования автодорожной сети, которые позволят уменьшить средние временные издержки на перевозку школьников и вовлечь населенные пункты с автономным начальным образованием в более мощные образовательные системы, не нарушая при этом требований минимальной транспортной доступности. Это создаст дополнительный потенциал для оптимизации существующей сети общего образования в районе и избавит от необходимости содержать сеть низкоэффективных учебных заведений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-78-10066 «Оптимизация транспортно-логистической системы России и регионов как инструмент устойчивого развития»)

Список источников

1. *Алексеев А.И., Сафронов С.Г.* Изменение сельского расселения в России в конце XX – начале XXI века // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. – 2015. – № 2. – С. 66–76.
2. *Вишневецкий А.Г., Кваша Е.А., Харькова Т.Л., Щербакова Е.М.* Российское село в демографическом измерении // Мир России. Социология. Этнология. – 2007. – Т. 16, № 1. – С. 17–58.
3. *Денисенко В.А.* Основы образовательной логистики. – Калининград: Изд-во КГУ, 2003. – 317 с.
4. *Егоров Д.О., Шурупина В.С.* Сельское расселение России: типология территорий по людности сельских населенных пунктов // Региональные исследования. – 2018. – № 4 (62). – С. 4–16.
5. *Зубаревич Н.В.* Трансформация сельского расселения и сельской сети услуг в регионах // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 3. – С. 26–38.
6. *Овчинников Н.А.* Статистический анализ величин пробега автобусов ПАЗ-3205 при оценке коррозионно-усталостного разрушения их кузова // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 35. – С. 106–110. – URL: <https://e-koncept.ru/2015/95575.htm> (дата обращения: 01.05.2019).
7. *Сосунова Л.А., Новиков Д.Т., Горн А.П.* Логистика в сфере услуг // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2007. – № 6 (32). С. 168–175.
8. *Трофимова О.А.* Образовательная логистика как основа управления образовательной организацией // Педагогическое образование в России. – 2017. – № 8. – С. 38–42.
9. *Хайкин М.М.* К вопросу о формировании логистической концепции управления в сфере услуг // Известия СПбГЭУ. – 2009. – № 1. – С. 43–52.
10. *Altamirano M.A., van Daalen C.E.* A system dynamics model of primary and secondary education in Nicaragua // Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society. – Oxford, England, 2004.
11. *Boussauw K., van Meeteren M., Witlox F.* Short trips and central places: The home-school distances in the Flemish primary education system (Belgium) // Applied Geography. – 2014. – No. 53. – P. 311–322.
12. *Chen D.S., Kallsen H.A., Chen H.C., Tseng V.C.* A bus routing system for rural school districts // Computers & Industrial Engineering. – 1990. – No. 19 (1-4). – P. 322–325.
13. *De Boer E.* School Concentration and School Travel: PhD Thesis. – Delft: Delft University of Technology, 2010.
14. *Gao Y., He Q., Liu Y., Zhang L., Wang H., Enxiang C.* Imbalance in spatial accessibility to primary and secondary schools in China: Guidance for education sustainability // Sustainability. – 2016. – Vol. 8, No. 1236.

15. *Lucas K.* Transport and social exclusion: a survey of the group of seven nations. Social Research in Transport (SORT) Clearinghouse, 2004. – URL: https://www.researchgate.net/publication/37183845_Transport_and_social_exclusion_a_survey_of_the_group_of_seven_nations (дата обращения: 01.05.2019).
16. *Marique A.-F., Dujardin S., Teller J., Reiter S.* School commuting: The relationship between energy consumption and urban form // *Journal of Transport Geography*. – 2013. – No. 26. – P. 1–11.
17. *Park J., Kim B.I.* The school bus routing problem: A review // *European Journal of Operational Research*. – 2010. – No. 202 (2). – P. 311–319.
18. *Pedamallu C.S., Ozdamar L., Ganesh L.S., Weber G.-W., Kropat E.* A system dynamics model for improving primary education enrollment in a developing country // *Organizacija*. – 2010. – No. 43. – P. 90–101.
19. *Preston J., Raje F.* Accessibility, mobility and transport-related social exclusion // *Journal of Transport Geography*. – 2007. – No. 15 (3). – P. 151–160.
20. *Schittekat P., Sevaux M., Sørensen K.* A mathematical formulation for a school bus routing problem // *Proceedings of the IEEE 2006 International Conference on Service Systems and Service Management*. 2006. – URL: https://www.researchgate.net/publication/224060004_A_Mathematical_Formulation_for_a_School_Bus_Routing_Problem (дата обращения: 01.05.2019).
21. *Shafahi A., Zhongxiang W., Haghani A.* Solving the school bus routing problem by maximizing trip compatibility // *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. – 2017. – No. 2667 (1). – URL: https://www.researchgate.net/publication/320820998_Solving_the_School_Bus_Routing_Problem_by_Maximizing_Trip_Compatibility (дата обращения: 01.05.2019).
22. *Spada M., Bierlaire M., Liebling Th.M.* Decision-aiding methodology for the school bus routing and scheduling problem // *Transportation Science*. – 2005. – No. 39. – P. 477–490.
23. *Stanley J., Stanley J.* The importance of transport for social inclusion // *Social Inclusion*. – 2017. – No. 5 (4). – P. 108–115.
24. *Stern E., Michlis M.* Redefining high school catchment areas with varying effects of achievement equality // *Applied Geography*. – 1986. – No. 6 (4). – P. 297–308.
25. *Titheridge H., Achuthan K., Mackett R., Solomon J.* Assessing the extent of transport social exclusion among the elderly // *Journal of Transport and Land Use*. – No. 2 (2). – P. 31–48.
26. *Zwerts E., Allaert G., Janssens D., Wets G., Witlox F.* How children view their travel behavior: A case study from Flanders (Belgium) // *Journal of Transport Geography*. – 2010. – No. 18 (6). – P. 702–710.

Информация об авторах

Николаев Роман Сергеевич (Россия, Пермь) – кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, доцент кафедры мировой и региональной экономики, экономической теории Пермского государственного национального

исследовательского университета (614068, Пермь, ул. Букирева, 15).
E-mail: groommaa27@mail.ru.

Егоров Дмитрий Олегович (Россия, Казань) – ведущий специалист Центра перспективного развития Казанского федерального университета (420008, Казань, ул. Кремлевская, 18); старший научный сотрудник Центра перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан (420111, Казань, ул. Островского, 23/1). E-mail: dmitriy.m.egorov@mail.ru.

DOI: 10.15372/REG20220106

Region: Economics & Sociology, 2022, No. 1 (113), p. 153–200

R.S. Nikolaev, D.O. Egorov

**MODELING THE OPTIMIZATION OF A SCHOOL
NETWORK AMID RURAL DEPOPULATION
(CASE STUDY OF ELABUZH DISTRICT,
THE REPUBLIC OF TATARSTAN)**

Given that rural settlement patterns actively transform due to a depopulating village network, agglomeration and urbanization processes, mass migration from suburbs and concentration of population in large cities, rural territorial systems demand to resolve the spatial organization of individual living environments. In particular, fewer residents and settlements render the educational system inefficient, both in terms of how much the educational process costs and how it is organized. In this regard, the issues of educational system logistics associated with optimizing schoolchildren's transportation flows between settlements and planning the placement of social elements by territory are highly relevant.

The article analyzes the existing spatial organization of the educational system in rural areas of a municipality as illustrated by Elabuzh municipal district in the Republic of Tatarstan. Based on analytical study findings, we designed alternative models to organize a general educational system, which were then cross compared by performance indicators. The models built upon cluster formations with passenger turnover minimization have proved optimal; they allow us to determine the accommodation options with moderate costs and low transport load on the transported children. Another mechanism of traffic flows optimization is bound to developing the existing transport infrastructure

so that a new level of the system's spatial organization may become attainable. The results of this study can be applied in regional (municipal) management, forecasting and design, spatial and urban planning.

Keywords: rural area; school; reform; reorganization; transportation system; passenger flow optimization; modeling; transportation load

For citation: *Nikolaev, R.S. & D.O. Egorov. (2022). Modelirovanie optimizatsii seti shkol v usloviyakh depopulyatsii selskogo naseleniya (na primere Elabuzhskogo rayona Respubliki Tatarstan) [Modeling the optimization of a school network amid rural depopulation (case study of Elabuzh District, the Republic of Tatarstan)]. Region: ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and Sociology], 1 (113), 153–200. DOI: 10.15372/REG20220106.*

*The research is prepared within the framework of the project 17-78-10066
“Optimization of the Transport and Logistics System in Russia
and Its Regions as a Tool for Sustainable Development” supported
by funding from the Russian Foundation for Basic Research*

References

1. *Alekseev, A.I. & S.G. Safronov. (2015). Izmenenie selskogo rasseleniya v Rossii v kontse XX – nachale XXI veka [Change in rural settlement patterns in Russia during the late 20th – early 21st centuries]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5: Geografiya [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography], 2, 66–76.*
2. *Vishnevskiy, A.G., E.A. Kvasha, T.L. Kharkova & E.M. Shcherbakova. (2007). Rossiyskoe selo v demograficheskom izmerenii [Rural Russia in a demographical study]. Mir Rossii. Sotsiologiya. Etnologiya [University of Russia. Sociology. Ethnology], Vol. 16, No. 1, 17–58.*
3. *Denisenko, V.A. (2003). Osnovy obrazovatelnoy logistiki [Fundamentals of Educational Logistics]. Kaliningrad, Kaliningrad State University Publ., 317.*
4. *Egorov, D.O. & V.S. Shurupina. (2018). Selskoe rasselenie Rossii: tipologiya territoriy po lyudnosti selskikh naselennykh punktov [Rural settlement system of Russia: Typology of territories by rural settlements population]. Regionalnye issledovaniya [Regional Research], 4 (62), 4–16.*
5. *Zubarevich, N.V. (2013). Transformatsiya selskogo rasseleniya i selskoy seti uslug v regionakh [Transformation of the rural settlement pattern and social services network in rural areas]. Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 3, 26–38.*
6. *Ovchinnikov, N.A. (2015). Statisticheskiy analiz velichin probega avtobusov PAZ-3205 pri otsenke korrozionno-ustalostnogo razrusheniya ikh kuzova [Statistical*

analysis of mileage values of PAZ-3205 buses in assessing the corrosion-fatigue failure of their bodies]. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal "Koncept"* [Scientific and Methodological Electronic Journal "Koncept"], 35, 106–110. Available at: <https://e-koncept.ru/2015/95575.htm> (date of access: 01.05.2019).

7. *Sosunova, L.A., D.T. Novikov & A.P. Gorn.* (2007). *Logistika v sfere uslug* [Logistics in the service sphere]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Vestnik of Samara State University of Economics], 6 (32), 168–175.

8. *Trofimova, O.A.* (2017). *Obrazovatel'naya logistika kak osnova upravleniya obrazovatel'noy organizatsiyey* [Educational logistics as a basis for educational institution management]. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii* [Pedagogical Education in Russia], 8, 38–42.

9. *Khaykin, M.M.* (2009). *K voprosu o formirovaniy logisticheskoy kontseptsii upravleniya v sfere uslug* [On the formation of logistic concept of management in the service industry]. *Izvestiya SPbGEU* [Bulletin of Saint Petersburg State University of Economics], 1, 43–52.

10. *Altamirano, M.A. & C.E. van Daalen.* (2004). A system dynamics model of primary and secondary education in Nicaragua. In: *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. Oxford, England.

11. *Boussauw, K., M. van Meeteren & F. Witlox.* (2014). Short trips and central places: The home-school distances in the Flemish primary education system (Belgium). *Applied Geography*, 53, 311–322.

12. *Chen, D.S., H.A. Kallsen, H.C. Chen & V.C. Tseng.* (1990). A bus routing system for rural school districts. *Computers & Industrial Engineering*, 19 (1-4), 322–325.

13. *De Boer, E.* (2010). *School Concentration and School Travel*. PhD Thesis. Delft, Delft University of Technology.

14. *Gao, Y., Q. He, Y. Liu, L. Zhang, H. Wang & C. Enxiang.* (2016). Imbalance in spatial accessibility to primary and secondary schools in China: Guidance for education sustainability. *Sustainability*, Vol. 8, No. 1236.

15. *Lucas, K.* (2004). *Transport and social exclusion: a survey of the group of seven nations*. Social Research in Transport (SORT) Clearinghouse. Available at: https://www.researchgate.net/publication/37183845_Transport_and_social_exclusion_a_survey_of_the_group_of_seven_nations (date of access: 01.05.2019).

16. *Marique, A.-F., S. Dujardin, J. Teller & S. Reiter.* (2013). School commuting: The relationship between energy consumption and urban form. *Journal of Transport Geography*, 26, 1–11.

17. *Park, J. & B.I. Kim.* (2010). The school bus routing problem: A review. *European Journal of Operational Research*, 202 (2), 311–319.

18. *Pedamallu, C.S., L. Ozdamar, L.S. Ganesh, G.-W. Weber & E. Kropat.* (2010). A system dynamics model for improving primary education enrollment in a developing country. *Organizacija*, 43, 90–101.

19. *Preston, J. & F. Raje.* (2007). Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. *Journal of Transport Geography*, 15 (3), 151–160.

20. *Schittkat, P., M. Sevaux & K. Sørensen.* (2006). A mathematical formulation for a school bus routing problem. In: *Proceedings of the IEEE 2006 International*

Conference on Service Systems and Service Management. Available at: https://www.researchgate.net/publication/224060004_A_Mathematical_Formulation_for_a_School_Bus_Routing_Problem (date of access: 01.05.2019).

21. *Shafahi, A., W. Zhongxiang & A. Haghani.* (2017). Solving the school bus routing problem by maximizing trip compatibility. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2667 (1). Available at: https://www.researchgate.net/publication/320820998_Solving_the_School_Bus_Routing_Problem_by_Maximizing_Trip_Compatibility (date of access: 01.05.2019).

22. *Spada, M., M. Bierlaire & Th.M. Liebling.* (2005). Decision-aiding methodology for the school bus routing and scheduling problem. *Transportation Science*, 39, 477–490.

23. *Stanley, J. & J. Stanley.* (2017). The importance of transport for social inclusion. *Social Inclusion*, 5 (4), 108–115.

24. *Stern, E. & M. Michlis.* (1986). Redefining high school catchment areas with varying effects of achievement equality. *Applied Geography*, 6 (4), 297–308.

25. *Titheridge, H., K. Achuthan, R. Mackett & J. Solomon.* (2009). Assessing the extent of transport social exclusion among the elderly. *Journal of Transport and Land Use*, 2 (2), 31–48.

26. *Zwerts, E., G. Allaert, D. Janssens, G. Wets & F. Witlox.* (2010). How children view their travel behavior: A case study from Flanders (Belgium). *Journal of Transport Geography*, 18 (6), 702–710.

Information about the authors

Nikolaev, Roman Sergeevich (Perm, Russia) – Candidate of Sciences (Geography), Associate Professor at the Department of Socio-Economic Geography, Associate Professor at the Department of World and Regional Economics and Economic Theory, Perm State National Research University (15, Bukirev st., Perm, 614068, Russia). E-mail: roommaa27@mail.ru.

Egorov, Dmitry Olegovich (Kazan, Russia) – Leading Specialist at the Prospective Development Center, Kazan Federal University (18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia); Senior Researcher at the Center of Advanced Economic Research, Tatarstan Academy of Sciences (23/1, Ostrovskiy st., Kazan, 420111, Russia). E-mail: dmitriy.m.egorov@mail.ru.

Поступила в редколлегию 12.03.2021.

После доработки 03.09.2021.

Принята к публикации 10.09.2021.

© Николаев Р.С., Егоров Д.О., 2022