



Электровозный кластер в большом городе: проблемы экологической совместимости



Татьяна ДВОРНИКОВА

Tatiana V. DVORNIKOVA

Автор формирует свой кластерный подход к инженерно-экологическому анализу транспортных проблем в большом городе (прототип – Москва). В центре внимания – воздействие электрической железной дороги на окружающую среду мегаполиса с учетом всей совокупности вредных влияний: акустического шума, вибрационно-ударных нагрузок, электростатических и электромагнитных полей. Показано, что задача обеспечения экологической безопасности может быть решена в интересах населения прежде всего при совместимости целей развития локальной транспортной сети и городской территории, а также организации комплексных исследований последствий эксплуатации электрической тяги на внутренних железнодорожных линиях жилой зоны и в пригородном сообщении.

Ключевые слова: мегаполис, железная дорога, электрическая тяга, вредные воздействия, инженерно-экологический анализ, кластер «железная дорога–город», экологическая совместимость.

Дворникова Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и инженерная экология» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Если оценивать единую транспортную систему (ЕТС) страны [1] с точки зрения критериев, принятых в инженерной экологии [2], то наиболее предпочтительным видом перевозок для грузов и пассажиров следует считать железные дороги. Но такая оценка относится к категории обобщенных критериев; она справедлива, например, при сравнении железнодорожного и автомобильного транспорта. Однако при этом, надо заметить, определяющим фактором в распределении перевозочной работы выступают не экологические, а инженерно-экономические оценки [3], когда на первый план выходит сочетание себестоимости и комплекса удобств (комфорта) для пассажиров или получателей грузов.

В этих условиях задача инженерно-экологического анализа локализуется применительно к отдельным подразделениям (кластерам) перевозочного процесса или к взаимодействию их с другими сферами экономики и жизнедеятельности. Наиболее значимой из таких задач представляется инженерно-экологическая оценка совместимости железнодорожного транспорта с жизнедеятельностью крупнейших городов страны, имеющих большую

Таблица 1

Воздействие электрической железной дороги на окружающую среду в большом городе

1. Акустический шум					2. Вибрационно-ударные воздействия			3. Электрические поля, генерируемые контактной сетью			4. Продукты износа механической части	
Направления воздействия												
Окружающая среда	Пассажиры	Поездный персонал	Строительные сооружения	Пассажиры и персонал	Электростатическое поле	Магнитное поле	Гальваническое воздействие	Загрязнение путей	структуры	Вывод	в окружающую среду	

территорию, высокую плотность населения и жесткий контроль экологической обстановки.

Например, в Москве в пределах МКАД эксплуатируется 650 км железнодорожных линий с интенсивным движением моторвагонных электропоездов пригородного сообщения, а также пассажирских и грузовых поездов с электровозной тягой. Кроме того, на станциях работает значительное количество маневровых тепловозов, но доля последних в загрязнении окружающей среды выхлопными газами незначительна — менее 1% от доли автотранспорта. Поэтому внимание следует сосредоточить на железнодорожных линиях с электрической тягой, которые выполняют основной объем перевозок [4]. Причем загружены они предельно, хотя чаще всего имеют 3—4 пути.

С учетом именно такой ситуации интегральная оценка техногенной среды в столь крупном городе должна учитывать воздействие железнодорожного транспорта как весомого кластера в местной транспортной системе. Актуальность же темы для столицы становится все более весомой по следующим причинам:

- постоянный рост пассажиропотоков в пригородном сообщении;
- организация внутригородских пассажирских перевозок по Малому кольцу Московской железной дороги (протяженность 54 км);
- расширение городской территории,

рост численности и подвижности населения;

- приближение городской застройки и соответственно находящихся в них людей к железнодорожным линиям.

Согласно понятным соображениям целесообразно проанализировать экологическую ситуацию в рассматриваемом кластере «железная дорога—город» отдельно по каждому из вредных воздействий. В таблице 1 соответственно указаны: в верхней части — основные виды вредных воздействий по принятой в инженерной экологии классификации [2], в нижней части — направления и приемники этих воздействий. Дальнейший анализ, собственно, выполняется по обозначенной схеме.

1. Акустический шум от подвижного состава четко ограничен нормативами, которые учитывают при проектировании локомотивов и вагонов и проверяют в процессе приемо-сдаточных испытаний. Основным источником шума служат контактные зоны «колесо-рельс». Уровень его существенно зависит от конструкции ходовой части подвижного состава и пути, от скорости движения поезда [5]. Интенсивность шума в идентичных условиях его генерации у грузовых поездов в 1,8—3,1 раза выше, чем у пассажирских, что определяется конструкцией упругого подвешивания. Поскольку максимальная скорость всех поездов в пределах МКАД ограничена на уровне 45—60 км/ч, то это автоматически решает проблему ограничения шума.



Основная причина лимита скорости — обеспечение безопасности при высокой плотности движения и частоты размещения остановочных пунктов пригородных поездов.

Приведённые соображения относятся главным образом к воздействию шума на окружающую среду. Что касается пассажиров пригородных и дальних поездов, то конструкция современных цельнометаллических вагонов дает достаточную акустическую изоляцию во всем диапазоне скоростей. Особенно это характерно для вагонов дальнего сообщения с кондиционированием воздуха, у которых обеспечена хорошая герметизация кузова. Аналогичное решение заложено и в технические требования на новые электропоезда пригородного сообщения, но его реализация затруднительна из-за убыточности пригородных перевозок. Тенденция к развитию рыночных отношений превалирует по отношению к прогрессивным технологическим решениям и входит с ними в противоречие.

2. Вибрационно-ударные воздействия на путевую инфраструктуру и окружающую среду, прежде всего на фундаменты строений в городской застройке, определяются динамикой взаимодействия подвижного состава и пути [6]. Результатом этого становятся периодические колебания грунта и кузовов вагонов. Последние оценивают коэффициентом плавности хода, причем имеется несколько методик расчета, например, по эмпирической формуле:

$$W = 2,7 \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \sqrt{A_i^3 \cdot f_i^5}, \quad (1)$$

где A_i , f_i — амплитуда и частота колебаний для i -й гармоники.

Человек наиболее чувствителен к колебаниям в диапазоне $f=5-8$ Гц, так что расчёты по формуле (1) можно ограничить этими значениями частот. Комфорт обеспечивается при $W=0,85-0,9$.

Современные методы виброизоляции кузова вагонов и локомотивов позволяют практически полностью исключить воздействие вибрации на людей; остается потенциальная опасность влияния низкочастотных колебаний на различные городские сооружения вблизи железнодорожно-

го пути. Но реально это не представляет опасности по следующим причинам: амплитуда колебаний грунта затухает пропорционально удалению в степени 1,8–2,6; скорость поездов ограничена; находится в обращении в основном пассажирский подвижной состав, имеющий небольшие нагрузки от оси на рельсы. В целом по виброударному воздействию железнодорожный подвижной состав, по мнению специалистов, не содержит угроз городской инфраструктуре. Согласно имеющимся данным, риск здесь даже слабее, чем у скоростного трамвая и метро.

3. Электрические поля [7,8] заслуживают особого внимания ввиду того, что они всегда возникают на железных дорогах с электрической тягой, а их действие на организм человека изучено недостаточно, хотя формально соответствующие нормативные документы имеются. В частности, нормативы не учитывают длительность воздействия поля на человека и эффект накопления изменений в его организме.

Специфика электрической тяги проявляется двояко — в генерации электрических полей контактной сетью и в том, что в зоне действия этих полей находится огромное количество людей — в поездах и на пассажирских платформах. Опасность их связана также с тем, что человек не ощущает влияние «невидимого врага» в отличие от акустического или вибрационного воздействия.

Имеет место ошибочное мнение о ничтожной опасности электрических полей контактной сети железных дорог ввиду относительно невысокого напряжения (3 кВ постоянного тока или 25 кВ переменного тока). В качестве аргумента приводят тот факт, что магистральные линии электропередачи предполагают напряжение 500 или 750 кВ, а проектируют линии на 1500 кВ. Но в этих линиях используют переменный трехфазный ток и при полной симметрии токов и напряжений генерируемые в системе электрические поля взаимно компенсируются. Сильное нескомпенсированное поле есть только вблизи каждого из проводов, а на уровне земли параметры остаточного поля для любой линии по крайней мере на порядок ниже предельного норматива.

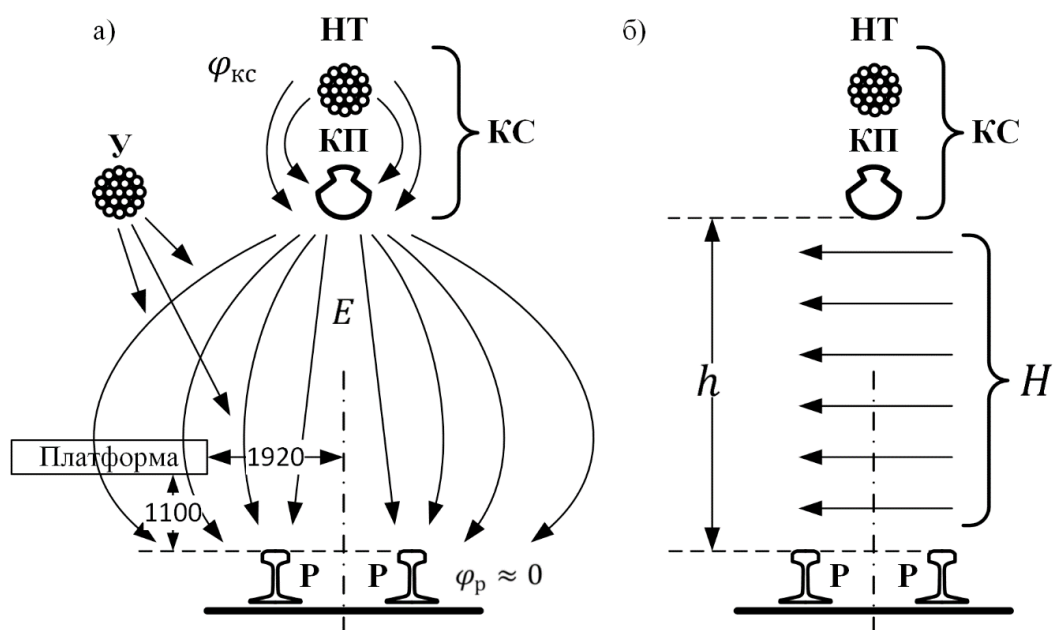


Рис. 1. Электрическое поле в зоне контактной сети (а – электростатическое поле; б – электромагнитное поле).

Аналогичная ситуация в метро, где ток, протекающий в контактном рельсе и ходовых рельсах, достигает 4–5 кА. Но расстояние между ними незначительно и электрическое поле концентрируется в этой зоне, по сути, не выходя над уровнем пассажирской платформы.

Совершенно иная ситуация имеет место на железной дороге, где контактный провод подвешен на высоте $h_{кп} = 5$ м над головками рельсов и электрическое поле сконцентрировано в этом промежутке. В зоне концентрации идет сгущение силовых линий и как раз в ней расположены массовые скопления пассажиров в вагонах и на платформах.

Вредное воздействие обычно рассматривают отдельно для электростатического и электромагнитного поля. В первом случае (рис. 1а) напряженность поля E определяется разностью потенциалов контактной сети $\varphi_{кс}$ и рельсов φ_p , т. е.

$$E = (\varphi_{кс} - \varphi_p) / h_{кп}, \quad (2)$$

причём $\varphi_p \approx 0$, так что

$$E = U_{кс} / h_{кп}, \quad (3)$$

где $U_{кс} \approx \varphi_{кс}$ – максимально допустимое напряжение контактной сети, равное 4 кВ на постоянном токе и 32 кВ на переменном.

Силовые линии электрического поля направлены от одного полюса системы к другому (рис. 1а). В системе постоянного тока полюс «плюс» – это провода контактной сети КП и НТ, «минус» – рельсы Р. Напряжённость электростатического поля максимальна в зоне рельсо-шпальной решётки, и здесь её значение равно

$$E_{max} = \frac{U_{max}}{h_{min}}, \quad (4)$$

где U_{max} – максимальное напряжение в контактной сети (4 кВ на постоянном токе или 32 кВ на переменном);

h_{min} – минимальная высота подвесок контактного провода ($h = 5,5–5,75$ м).

По формуле (4) получаем $E_{max} = 0,8$ кВ/м на постоянном токе и 6,4 кВ/м – на переменном.

Это соответствует нормам по электростатическому полю (рис. 2а), но здесь нужно учесть ряд дополнительных факторов. Во-первых, электростатическое поле присутствует всегда при наличии напряжения независимо от тока в проводах контактной сети и рельсах. Во-вторых, непосредственно на пути массовые скопления людей невозможны, но они всегда имеют место на пассажирских платформах. Если учитывать электростатическое поле только



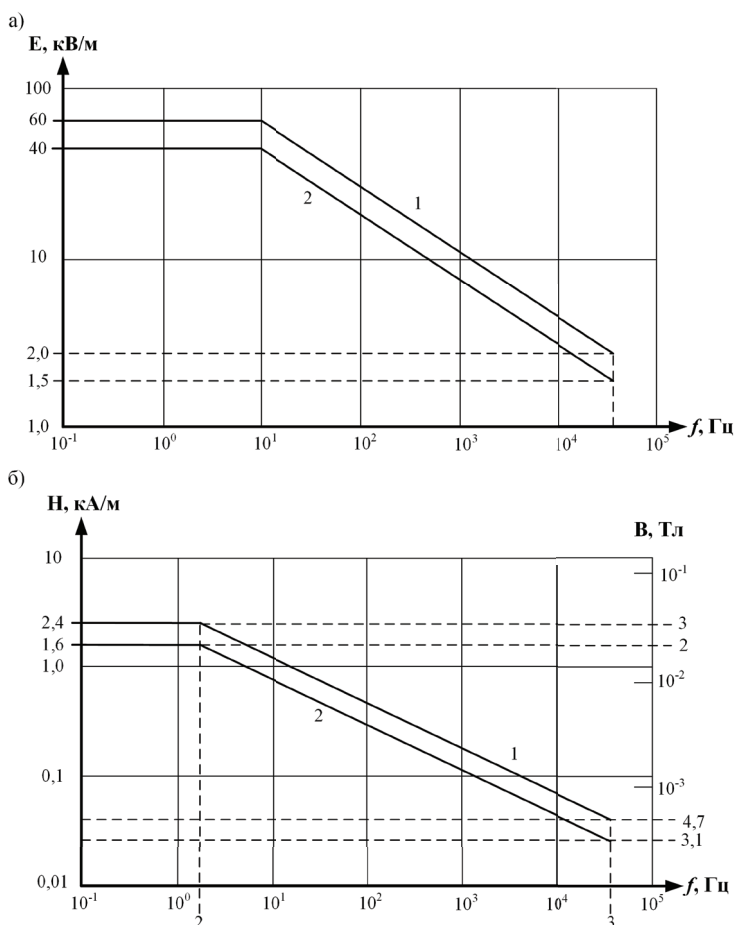


Рис. 2. Предельно-допустимые значения напряжённости E электростатического поля (а) и параметров H и B магнитного поля (б) согласно международным стандартам: 1 – пиковые значения; 2 – эффективные значения.

одного пути, то в зоне платформы напряжённость будет в 1,4 раза меньше, чем E_{max} . Но в реальной ситуации нужно учитывать и другие факторы: воздействие силовых линий электростатического поля от усиливающего провода U и от проводов соседнего пути. В результате суммарное воздействие указанных электростатических полей на человека, находящегося на платформе, характеризуется значением примерно в 1,6–1,9 раза выше E_{max} .

Для сравнения целесообразно рассмотреть электростатическое поле городского электротранспорта. В метро при напряжении на контактом рельсе 825 В поле является более концентрированным, поскольку контактный рельс и ходовые рельсы находятся на небольшом расстоянии друг от друга, но на уровне пассажирской платформы фактическое значение напряженности меньше в 20–25 раз.

В трамвае при 600 В в контактом проводе напряжённость не превышает 0,2 кВ/м, что значительно ниже нормы. В контактной сети троллейбуса оба провода +400 В и –400 В создают напряжённость в пространстве между ними до 1 кВ/м, хотя на уровне земли этот показатель в 30–35 раз ниже.

Словом, единственным источником электростатического воздействия на человека в условиях крупного города являются железные дороги с электрической тягой. Несмотря на постоянное наличие этого поля, пассажир подвергается его воздействию кратковременно – только при пребывании вблизи рельсового пути, например, в ожидании поезда. Корпус вагона обладает экранирующим эффектом и даже при наличии оконных проемов в стальном кузове электрическое поле в нем отсутствует. Тем не менее воздействие электростатиче-

ского поля на организм человека требует проведения дополнительных исследований.

Аналогичным образом ниже оценивается электромагнитное поле (рис. 16), возникающее в пространстве между проводами контактной сети К+НТ и рельсами Р. Они образуют одновитковый контур $W=1$, в котором действует магнитное поле с силовыми линиями H . Линии направлены перпендикулярно плоскости контура с электрическим током I и характеризуют напряженность в этом контуре, которая равна

$$H = \frac{W \cdot I}{\pi \cdot h}, \quad (5)$$

где I — сила тока; $\pi = 3,14$.

Максимальный ток в контактной сети и соответственно обратный ток в рельсах могут достигать 5–6 кА — в системе постоянного тока и 1–1,5 кА в системе переменного. Поэтому напряженность поля в рассматриваемом пространстве составит соответственно 1,1 кА/м или 0,3 кА/м, что вполне отвечает действующим нормативным ограничениям (рис. 26). Поскольку вектор напряжённости H направлен поперек оси железнодорожного пути, а в зоне пассажирской платформы векторы от обоих путей суммируются, то имеет место контур $W=2$. То есть фигурировавшие ранее значения напряженности нужно удвоить, а на многопутных линиях — умножить на 3–4. Но и тогда полученные значения окажутся ниже нормативных ограничений. Заметим, что к тому же организм человека менее восприимчив к магнитному полю, чем к электростатическому, ибо постоянно находится в магнитном поле Земли, а источником электростатического поля в условиях города может быть только контактная сеть.

Гальваническое воздействие электрического тока на окружающую среду связано с тем, что обратный ток электроподвижного состава, нормально протекающий по рельсам, ответвляется в грунт. Причем может ответвляться на протяжении всего пути до тяговой подстанции до 30% обратного тока. Поскольку контур его протекания в грунте является неопределенным, он

называется блуждающим. Ему свойственно вызывать электрокоррозию подземных сооружений в грунте, и этот отрицательный эффект достаточно детально описан в специальной литературе [9]; разработаны способы защиты от него. Очевидно, имеют место и другие отрицательные эффекты от блуждающих токов, но какие-либо серьезные исследования в этой части отсутствуют.

4. Продукты износа механической части подвижного става и рельсов — это пылевидные частицы, образующиеся при истирании колес, тормозных колодок, головок рельсов. Их химические формулы: Fe_2O_3

или Fe_3O_4 , а вредное воздействие от них ограничивается загрязнением верхнего строения пути. Частично они могут переноситься в окружающую среду — сильным ветром или ливневыми стоками. При этом существенным считается только эффект загрязнения пути, для чего есть свои технологии очистки.

Таким образом, проблема экологии железнодорожного транспорта в большом городе исключительно многоаспектна и требует выполнения комплексных исследований, особенно в том, что касается воздействия электрического поля на человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галабурда В. Г., Персианов В. А., Тимошин А. А. Единая транспортная система. — М.: Транспорт, 1999. — 303 с.
2. Гмошинский В. Г. Инженерная экология. — М.: Знание, 1977. — 64 с.
3. Глухов В. В. и др. Экономические основы экологии. — СПб.: Специальная литература, 1977. — 280 с.
4. Электрические железные дороги/ Под ред. Просвинова Ю. Е., Феоктистова В. П. — М.: УМЦ ЖДТ, 2010. — 356 с.
5. Бирюков И. В., Савоськин А. Н., Бурчак Г. П. и др. Механическая часть тягового подвижного состава. — М.: Транспорт, 1992. — 440 с.
6. Полторак Е. В., Янов В. П. Прогресс в электровозрождении и экология// Электровозрождение: Сб. научных трудов. — Новочеркасск, 2003. — Т. 45. — С.92–108.
7. Бадёр М. П. Электромагнитная совместимость. — М.: УМК МПС, 2002. — 638 с.
8. Косарев А. Б. Методы и средства обеспечения экологической безопасности в зонах электромагнитного влияния электрифицированных железных дорог переменного тока/ Дис... док.техн.наук. — М.: ВНИИЖТ, 1999. — 267 с.
9. Стрижевский И. В., Зиневич А. М., Никольский К. К. и др. Защита металлических сооружений от подземной коррозии: Справочник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1981. — 293 с.

