

## МОДЕЛЬ МЕТРОПОЛИТЕНА КАК СЛОЖНОЙ СЕТИ.

**Чернобровкий Д.А., Евин И.А.**

Московский физико-технический институт

За последнее десятилетие сложилось новое направление изучения сложных систем, в которых эти системы представляют как сетевые структуры [1]. В данной работе такие методы применены к системе метрополитена. В связи с недавними террористическими акциями в московском метро, возникла задача оценки важности его станций, поскольку именно на такие станции необходимо обратить наибольшее внимание при проведении защитных мероприятий. Особое внимание в таких исследованиях уделяется так называемым безмасштабным сетям (scale-free networks), в которых распределения узлов по числу связей описывается степенным законом. Большинство реальных сетей можно описывать именно как безмасштабные, а не случайные сети, включая и сети метрополитена. В работе [1] рассмотрена проблема навигации по сети с точки зрения сложности нахождения кратчайшего пути. Введены новые характеристики – search information для всей сети и hide и access information для отдельных станций. Из реальных сетей с помощью рандомизации были получены новые и сравнены с реальными. Обнаружено, что в реальных сетях search information прямо растет с увеличением сети, однако для рандомизированных сетей такой зависимости нет. В работе [2], на примере метро Шанхая, сеть метро была подвержена атакам – поочередным удалением узлов из нее. В этой работе рассматривается три типа атаки: 1) поочередно удаляются узлы с наибольшим числом связей; 2) поочередно удаляются узлы с наибольшим значением betweenness centrality (грубо говоря, количество кратчайших путей через данный узел); 3) узлы удаляются случайным образом. Были построены зависимости различных величин, характеризующих качество сети, (эффективность, средняя betweenness, размер наибольшего соединенного кластера и др.) от доли удаленных узлов. Было обнаружено, что если удалять узлы с максимальными значениями степеней и betweenness centrality, сеть разрушается намного быстрее, чем если удалять узлы случайно. Таким образом, параметры betweenness centrality и степень – очень важные параметры узлов сети. В нашей работе было показано, что московское метро можно описывать как безмасштабную сеть. Были подсчитаны вышеупомянутые параметры: степень и betweenness centrality для всех станций. Кроме того, была подсчитана еще одна характеристика, также описывающая важность станции - closeness centrality (средний кратчайший путь от данной станции до всех остальных).

### Литература

1. *Sybil Derrible, Christopher Kennedy* The complexity and robustness of metro networks. - Physica A. - 389 (2010) 3678-3691
2. *Josep Barberillo, Joan Saldana* Navigation in large subway networks: An informational approach. - Physica A. - 390 (2011) 374–386
3. *Jianhua Zhang, Xiaoming Xu, Liu Hong, ShuliangWang, Qi Fei* Networked analysis of the Shanghai subway network, in China. - Physica A. - 390 (2011) 4562–4570