

ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ И ЗАТУХАНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО ПРОЦЕССА¹

Профессор, докт. техн. наук М. Н. ГОЛЬДШТЕИН^{2*}
и канд. техн. наук А. Я. ТУРОВСКАЯ^{3*}

Реферат. Рассмотрена роль реологических свойств глинистых грунтов в подготовке оползневых смещений. Показано, что процесс установившейся ползучести ограничен только деформацией, протекающей в условиях допредельного состояния. Достижение критической деформации свидетельствует о переходе грунта в новое (запредельное) состояние.

Сделан анализ соотношения между пределом длительной прочности и остаточной прочностью. Для пластичных глин характерно, что предел длительной прочности и остаточная прочность практически равны между собой. Для глинистых грунтов, обладающих высокой жесткостью, характерно, что предел длительной прочности значительно превышает остаточную прочность.

Исследовано явление перехода тела оползня в запредельное состояние. Если среднеедвигающее усилие по потенциальной поверхности смещения близко к пределу длительной прочности, лишь незначительно его превышая, то в случае пластичных глин развивается длительный процесс уположения склона в допредельном состоянии без резкого проявления оползневых подвижек. В случае жестких глин деформация протекает в условиях запредельного состояния и носит характер четко выраженного оползневого смещения, тем более активного, чем больше превышение предела длительной прочности над остаточной прочностью.

Склон можно рассматривать как некоторую природную конструкцию, отличительными особенностями которой являются: а) неоднородность материала и наличие в нем дефектов; б) постоянное, практически бесконечно длительное воздействие касательных усилий. Соответственно основным в оползневой проблеме является вопрос о прочности и длительной прочности грунтов. Он одновременно является и главным вопросом механики грунтов и грунтоведения в целом. Важность этого вопроса невозможно переоценить.

Если при оценке состояния склона исходить из прочности грунта в образце, то неизбежно должны быть признаны надежно устойчивыми склоны, фактически являющиеся оползневыми. Касательные напряжения, обусловленные гравитационными силами, за всю историю формирования склона могли не достичь величины, достаточной для разрушения грунта такой прочности. Следовательно, к моменту нарушения устойчивости склона он уже обладал рядом поверхностей ослабления (дефектов), определяющих прочность грунта в массиве. Изучение процесса подготовки поверхностей ослабления, накопления дефектов в грунтах, является одной из важнейших задач в теории оползневого

¹ Доклад на Симпозиуме по теории оползневого процесса, состоявшемся в Дилижане в мае 1973 г.

² Зав. кафедрой «Основания и фундаменты», научный руководитель НИЛ механики грунтов.

³ Руководитель оползневой секторы НИЛ механики грунтов, старший научный сотрудник.

* Институт инженеров железнодорожного транспорта, Днепропетровск.

процесса и приводит к рассмотрению вопроса о длительной прочности и ползучести грунтов.

Известно, что в общем случае на кривой ползучести можно выделить три участка: затухающей, установившейся и прогрессирующей ползучести. Последняя в некоторый момент завершается полным разрушением грунта. В зависимости от характера грунта и величины сдвигающих усилий одни участки кривой ползучести могут оказаться более растянутыми, другие сжатыми. Однако объективной особенностью процесса ползучести глин является длительность протекания деформаций с постоянной скоростью (установившаяся ползучесть). Об этом говорят не только лабораторные испытания, но прежде всего наблюдения за перемещающимися сооружениями и склонами, у которых годовое смещение в течение многих лет может выражаться относительно постоянной величиной.

В настоящее время еще нет достаточных оснований для точного установления условий, в которых проявляется установившаяся ползучесть, но, по-видимому, можно принять, что она развивается в довольно широком диапазоне напряжений, пока эти напряжения остаются меньшими длительной прочности грунта.

В первом приближении можно считать, что разрушение глинистых грунтов происходит при некотором критическом значении относительной деформации $\varepsilon_{кр}$, определяемом свойствами грунта (Гольдштейн и Бабицкая, 1959). Следовательно к грунтам может быть применен такой же подход, как и к твердым телам, длительная прочность которых в настоящее время рассматривается с позиций накопления дефектов (микротрещин), концентрация которых изменяется от неизмеримо малого значения в начале нагружения до некоторой, характерной для данного материала предельной величины, в момент, предшествующий его полному разрушению.

Таким образом процесс ползучести ограничен только деформацией, протекающей в условиях допредельного состояния, в течение которого происходит постепенное накопление дефектов—расслабление вязких связей в грунте, формирование площадок ослабления. Следовательно, процесс ползучести можно рассматривать как подготовительный период к разрушению материала. По существу почти любое разрушение грунта имеет такой период развития предварительных деформаций в допредельном состоянии. Различна только продолжительность времени, необходимого для достижения критического состояния. Чем меньше скорость установившейся ползучести, тем полнее к моменту достижения критической деформации протекает процесс расслабления в грунте его вязких контактов, тем меньше напряжение, при котором достигнуто $\varepsilon_{кр}$. Минимальное значение этого напряжения, как известно, называется пределом длительной прочности грунта.

Достижение $\varepsilon_{кр}$ свидетельствует о переходе грунта в новое (запредельное) состояние (Гольдштейн и Туровская, 1972). Прогрессирующее разрушение грунта в запредельном состоянии, сопровождающееся резким снижением его длительной прочности до остаточного значения, происходит, главным образом, за счет нарушения необратимых жестких связей. Определенную роль в этом процессе играет и перестройка структуры грунта в зоне сдвига, вследствие чего снижается прочность восстанавливающихся вязких связей.

Таким образом, характеризуя прочностные свойства глинистого грунта, сталкиваются с необходимостью рассмотрения четырех понятий: стандартной прочности (S), длительной прочности (S_t), предела

длительной прочности (S_{∞}) и установившейся (остаточной) прочности ($S_{\text{ост}}$). В этой связи приведен анализ соотношения между S_t , S_{∞} и $S_{\text{ост}}$. Если в грунте преобладают связи, которые в условиях данного напряженного состояния ведут себя как вязкие, то значение $\varepsilon_{\text{кр}}$ сравнительно велико и может быть достигнуто под влиянием длительного воздействия сдвигающих условий, незначительно превышающих S_{∞} . Для подобных грунтов характерно, что при $t \rightarrow \infty$ $S_t \rightarrow S_{\infty} \approx S_{\text{ост}}$. Если грунт обладает высокой жесткостью, то значение $\varepsilon_{\text{кр}}$ такого грунта очень невелико. Соответственно возможность длительного нарастания деформаций и ослабления вязких связей ограничена малым значением $\varepsilon_{\text{кр}}$. Поэтому при сравнительно высоких (близких к стандартной прочности) напряжениях деформация ползучести носит затухающий характер. Соответственно высоким является и предел длительной прочности жестких грунтов. Для них характерно соотношение $S_{\infty} \gg S_{\text{ост}}$.

Отмеченные специфические особенности реологических свойств различных глинистых грунтов оказывают значительное влияние на процесс подготовки оползневого смещения и на характер оползневых проявлений. Благодаря развитию деформаций ползучести в глинистых грунтах, подготовка оползневого процесса может начаться в устойчивом склоне задолго до того, как среднее сдвигающее усилие $\tau_{\text{ср}}$ по поверхности смещения превысит длительную прочность грунта, соответствующую некоторому моменту времени. Обязательным условием для развития деформации ползучести является соотношение $\tau_{\text{ср}} > S_{\infty}$.

Вследствие природной неоднородности грунтов и особенностей распределения напряжений в склоне, отдельные его точки характеризуются значением $\tau < S_{\infty}$, в то время, как в других точках существуют площадки, для которых справедливо соотношение $\tau \gg S_{\infty}$. По таким площадкам в первую очередь развивается процесс ползучести, т. е. идет подготовка предварительных деформаций в допредельном состоянии. В разных точках этот процесс протекает с различной скоростью, и в некоторых из них может быть раньше достигнуто критическое состояние. Так как склон в целом устойчив, деформация по этим площадкам носит характер микросдвигов с образованием микроплощадок ослабления, причем изменение структуры грунта по поверхности площадки исключает возможность полного восстановления даже нарушенных вязких связей. Соответственно происходит перераспределение сдвигающих усилий, а процесс подготовки площадок ослабления начинается уже в новых точках, в которых раньше действующее усилие было меньше S_{∞} , и т. д.

Формирование общей поверхности смещения сопровождается обычно хрупким разрушением грунта по площадкам с резко возросшим значением сдвигающих усилий. Эти деформации протекают в условиях запредельного состояния.

Как уже отмечалось, специфические особенности реологических свойств различных глинистых грунтов оказывают значительное влияние на процесс подготовки оползневого смещения и на характер оползневых проявлений.

Если среднее значение сдвигающего усилия, действующего по потенциальной поверхности смещения, близок к S_{∞} , то в случае пластичных глин, характеризующихся $S_{\infty} \approx S_{\text{ост}}$, развивается длительный процесс уположения склона в допредельном состоянии за счет деформаций ползучести, без резкого проявления оползневых подвижек. Запредельное состояние в этих условиях может почти не проявляться, так

важак значительного перераспределения сдвигающих усилий не возникает, а на снижение прочности грунта по площадкам сдвига после достижения критической деформации практически не произойдет. Следовательно, оползание склона осуществится без предварительной подготовки площадок ослабления.

В случае жестких глин, характеризующихся $S_{\infty} \gg S_{\text{ост}}$, идет медленная подготовка площадок ослабления в допредельном состоянии. В данном случае процесс формирования общей поверхности смещения, вдоль которой средняя прочность грунта уже достигла предела длительной прочности, завершается дальнейшим снижением ее до остаточного значения. Следовательно, в отличие от описанного выше случая с пластичных глин, деформация протекает в условиях запредельного состояния и носит характер четко выраженного оползнего смещения, причем более активного, чем сильное превышение S_{∞} над $S_{\text{ост}}$. Предельное уположение такого склона может быть не достигнуто в течение одного оползнего цикла.

Если в склоне по потенциальной поверхности смещения действует среднее сдвигающее усилие, значительно превышающее S_{∞} , то в процессе перераспределения касательных усилий скорость подготовки предварительных деформаций в допредельном состоянии во времени возрастает, так как по мере накопления площадок ослабления увеличивается значение τ , при котором развивается ползучесть на новых площадках. Соответственно уположение склона и в пластичных глинах происходит в виде выраженной оползневой подвижки, сопровождающейся хрупким разрушением грунта, с дальнейшим снижением его прочности по поверхности смещения при деформировании в условиях запредельного состояния. Однако склоны, сложенные пластичными глинами без прочных жестких связей, не могут обладать большой высотой и крутизной. Поэтому значение избыточного сдвигающего усилия ($\Delta\tau = \tau_{\text{ср}} - S_{\text{ост}}$), определяющего активность оползневой подвижки в запредельном состоянии, в таких склонах обычно сравнительно невелико, и хрупкое разрушение грунта в начале оползнего цикла очень резко не проявляется. Снижение прочности грунта в зоне смещения до остаточного значения и, соответственно, предельное уположение склона могут быть достигнуты даже в течение одного оползнего цикла.

В склонах, сложенных жесткими глинами, характеризующимися высоким значением предела длительной прочности, при $\tau_{\text{ср}} > S_{\infty}$ предварительные деформации в допредельном состоянии могут развиваться под воздействием весьма значительных сдвигающих усилий, обусловленных большой высотой и крутизной склона. В этих условиях будет иметь место очень резкое превышение касательных напряжений над остаточной прочностью. Соответственно деформация в запредельном состоянии развивается с большой скоростью и нередко носит катастрофический характер. Предельное уположение таких склонов, сопровождающееся снижением прочности грунта в зоне смещения до значения $S_{\text{ост}}$, обычно наступает в результате нескольких последовательно повторяющихся циклов оползания.

Следует отметить, что в жестких глинах типа аргиллитов, глинистых сланцев, представляющих собой полускальную породу, при отсутствии в них дефектов не могли бы развиваться деформации ползучести, так как сдвигающие напряжения, обусловленные гравитационными силами, оказались бы для этого недостаточными (меньшими S_{∞}). Однако оползни в таких породах широко развиты. В этих условиях

развитие деформаций оказалось возможным только благодаря наличию дефектов (трещин, поверхностей ослабления и др.), вызванных главным образом тектоникой (Туровская и Тимофеева, 1965).

Примером могут служить оползни во флишевых отложениях Черноморского побережья Крыма и Кавказа. Породы флиша сильно дислоцированы, часто перемяты в мелкие крутые складки. Там, где состав флиша преимущественно аргиллитовый, в зонах локальных интенсивных перемятий четко проявляются выраженная сланцеватость, разрывы и зеркала скольжения. По многочисленным тектоническим трещинам часто наблюдаются смещения отдельных пачек пород. К зонам нарушения приурочено наиболее интенсивное проявление процессов выветривания. В результате формирования в массиве ослабленных зон, в которых породы обладают уже иными прочностными и деформативными свойствами, действующие сдвигающие усилия оказываются достаточными для развития процессов ползучести в склонах.

Каждый оползневой цикл в общем случае протекает в виде двух основных качественно различных процессов: 1) развитие деформаций в условиях допредельного состояния, протекающее при коэффициенте устойчивости $K_y > 1$; это период подготовки поверхностей ослабления и 2) развитие деформаций в условиях запредельного состояния протекающее при $K_y < 1$; это период собственно оползневого смещения; процесс затухающий.

Рубежом, разделяющим эти два состояния, является момент, характеризующийся $K_y = 1$, т. е. предельное состояние склона.

Если бы не было перехода от предельного состояния к запредельному, то резкая активация оползневых смещений при постоянной интенсивности оползневых факторов не могла бы иметь места, так как малейшее нарушение устойчивости должно вызывать ответную незначительную подвижку, восстанавливающую устойчивость оползневого тела (Гольдштейн и др., 1969).

Однако характерной особенностью оползней в глинах является тот факт, что начальная стадия оползневого цикла сопровождается не повышением, как это привычно считать, а понижением коэффициента устойчивости. Причиной понижения коэффициента устойчивости в начальной стадии оползневого цикла является свойственное глинистым грунтам резкое уменьшение прочности в зоне оползневого смещения в момент подвижки. Оно проявляется при столь малых деформациях, что конфигурация склона при этом почти не изменяется. Следовательно практически остается той же и величина сдвигающих усилий, тогда как удерживающие силы, вследствие падения прочности грунта, значительно уменьшаются и массив переходит в запредельное состояние. Особенно резко этот процесс проявляется в жестких глинах, у которых $S_{\infty} \gg S_{ост}$.

Кульминационная точка развития каждого оползневого цикла соответствует моменту максимального превышения сдвигающих сил над удерживающими.

В НИЛ механики грунтов ДИИТа был исследован процесс сдвига в запредельном состоянии, столь характерном для оползневых процессов. Испытания проводились на приборе кольцевого сдвига системы ДИИТа. При обработке результатов более чем 70 испытаний различных грунтов было установлено, что развитие деформаций в запредельном состоянии при нарастающем превышении τ над S протекает с ускорением. Этим и объясняются случаи катастрофически быстрых смещений после длительного периода медленного нарастания деформаций, завер-

шающегося резким снижением прочности в зоне смещения до остаточного значения. В дальнейшем, вследствие изменения конфигурации склона, сдвигающие силы уменьшаются, а прочность грунта в зоне смещения остается той же и K_y повышается до единицы (или больше). Оползневой цикл завершается.

Снижение прочности в зоне смещения до остаточного значения может не произойти за один цикл. Поэтому к началу каждого последующего цикла оползания средняя прочность грунта по поверхности смещения оказывается ниже, а следовательно падение K_y становится менее резким. Когда прочность грунта по поверхности смещения достигает $S_{ост}$, склон приходит в состояние предельного уположения. Любая подвижка такого оползневоего тела сразу сопровождается повышением K_y и катастрофического смещения не происходит, так как запредельное состояние не возникает.

Таким образом, как это не парадоксально, чем выше в данный момент прочность грунта по поверхности смещения (по сравнению с $S_{ост}$), тем катастрофичнее может протекать оползневой процесс. Из изложенного вытекает, что для оценки длительной устойчивости оползня еще недостаточно знать его K_y . В данный момент значение K_y может превышать единицу, однако в определенных условиях небольшая подвижка может сразу вызвать резкое снижение прочности и катастрофическое смещение.

Длительную устойчивость склона следует оценивать коэффициентом (Гольдштейн и др., 1969)

$$K_{дл} = \frac{S_{ост}}{S_t}; \quad \frac{S_{ост}}{S_n} \leq K_y \leq 1,$$

где $S_{ост}$ — остаточная прочность при данном нормальном давлении и S_t — средняя прочность грунта по поверхности смещения в данный момент (получена обратным расчетом).

Для анализа региональных закономерностей развития оползней в различных геологических условиях были рассчитаны значения $K_{дл}$ для 90 различных оползней. У большого количества оползней Молдавии значения $K_{дл}$ не опускаются ниже единицы. Наблюдения показали, что подвижки на этих оползнях не носят катастрофического характера. Для большинства оползней Черноморского побережья Кавказа значения $K_{дл} < 1$. Это район с молодым рельефом и очень активными оползневыми подвижками. Оползневые склоны Одесского побережья находятся на разных стадиях развития. Некоторые уже достигли предельного уположения. Значения $K_{дл}$ оказывают влияние и на характер деформации при развитии нового оползневого клина.

На склоне за пределами оползневого тела под влиянием действующих сдвигающих усилий тоже происходит медленная подготовка поверхностей ослабления, хотя видимые деформации отсутствуют. Влияние этого процесса на общую устойчивость склона может быть различным в зависимости от условий, от величины $K_{дл}$. Если склон достиг предельного уположения ($K_{дл} = 1$), то подмыв оползневого тела, как уже отмечалось, вызывает лишь небольшую быстро затухающую деформацию. Но подвижка оползневого тела, играющего роль контрбанкета, может вызвать нарушение устойчивости расположенной выше части склона (нового оползневого клина) по подготавливаемой поверхности ослабления, хотя общий коэффициент устойчивости склона до подмыва оползневого тела был выше единицы.

Если бы прочность по основанию клина при его смещении больше не снижалась, то лишь небольшое давление передалось бы на оползневое тело и оно вместе с клином несколько продвинулось книзу и остановилось. Но при начавшейся подвижке прочность грунта в основании клина начнет резко снижаться, что увеличит давление на оползневое тело и может усилить его подвижку. Однако при условии $K_{\text{дз}} = 1$ катастрофического оползания при захвате нового клина не произойдет. Объем клина по сравнению с объемом всего оползневого тела обычно невелик, и так как прочность грунта по основной поверхности смещения больше не снижается (она уже достигла $S_{\text{ост}}$), дополнительное давление от клина быстро уравнивается пассивным сопротивлением оползневого тела, несколько продвинувшегося книзу.

Если же склон еще не достиг предельного уположения ($K_{\text{дз}} < 1$), то незначительный подмыв оползневого тела, как уже отмечалось, может вызвать активизацию оползня—интенсивное смещение книзу оползневого тела. Начавшееся смещение нового оползневого клина, не встречая пассивного сопротивления оползневого тела, будет сопровождаться снижением прочности грунта и, как следствие, нарастанием давления, т. е. возможна резкая активация оползня с захватом нового оползневого клина.

ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ ԸՆԹԱՑՔԻ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՈՒ ՄԱՐՄԱՆ ՏՆՍՈՒԹՅՈՒՆԸ¹

Պրոֆեսոր, տեխն. գիտ. դոկտոր, ՄԻՔԱՅՆԻ ԳՈՒԴՇՏԵՅՆՆԵՐ* և
տեխն. գիտ. բեկնածու ԱՍՅԱ ՏՈՒՐՈՎՍԿԱՅԱՆ*

Ռեֆերատ. Քննարկվել է սողանքային տեղաշարժի նախապատրաստման մեջ կավային գրունտների ռելիեֆական հատկությունների դերը: Ցույց է տրվել, որ հաստատուն սողոր ընթացքը սահմանափակվում է միայն նախասահմանային վիճակում տեղի ունեցող ձևափոխությունով: Կրիտիկական ձևափոխության հասնելը ապացույց է գրունտի անցմանը նոր (անզրո-սահմանյան) վիճակի:

Հարաբերակցության վերլուծում է արված երկարատև ամրության սահմանի և մնացորդային ամրության միջև: Պլաստիկ կավերի համար, ընդդեմ է, որ երկարատև ամրության սահմանը և մնացորդային ամրությունը գործնականորեն հավասար են իրար: Բարձր կոշտություն ունեցող կավային գրունտի համար ընդդեմ է, որ երկարատև ամրության սահմանը զգալի կերպով գերազանցում է մնացորդային ամրությանը:

Հետազոտված է սողանքի մարմնի անցման երևույթը անզրոսահմանյան վիճակի, եթե պոտենցիալ տեղաշարժի մակերեսի վրա գործող միջին ռահքի լարումը մոտ է երկարատև ամրության սահմանին, միայն մի քիչ նրան գերազաճցելով, այս պլաստիկ կավերի զնայում զարգանում է լանջի թեքության երկարատև նվազեցման ընթացքը նախասահմանային վիճակում առանց սողանքային տեղաշարժման կտրուկ երևան գալու: Կոշտ կավերի զնայում ձևափոխությունը ընթանում է անզրոսահմանյան վիճակի պայմաններում և կրում է սողանքային տեղաշարժման պարզ արտահայտված բնույթը, առավել ևս ակտիվ, որքան մեծ է երկարատև ամրության սահմանը մնացորդային ամրության նկատմամբ:

¹ Իրիլջանում 1973 թ. մայիսին կայացած Սողանքային ընթացքի տեսության սիմպոզիումին ներկայացված զեկուցում:

² Հիմքերի ու հիմնատակերի ամրոնի և գրունտների մեխանիկայի լաբորատորիայի վարիչ:

³ Գրունտների մեխանիկայի լաբորատորիայի սողանքային սեկտորի վարիչ, ավագ գիտաշխատող:

* Դեկտորպետրովսկի երկաթուղային տրանսպորտի ինժեներների ինստիտուտ:

THEORY OF DEVELOPMENT AND DAMPING
OF THE LANDSLIDE PROCESSMICHAEL N. GOLDSTEIN^{2*}, Prof. Dr.Sc. (Eng.),
and ASYA Ya. TUROVSKAYA^{3*}, Cand.Sc.(Eng.)

SYNOPSIS. The role of the clay rheological properties in the preparation of slide displacements has been considered. It has been shown that the creep establishment stage takes place only in the prelimiting state. The achievement of the critical deformation testifies to the soil transition into a new state (so-called translimiting state). An analysis has been made of the correlation between the limit of the long-term and residual strength. Characteristically for plastic clays the limit of the long-term strength is practically equal to the residual strength. In a soil with high rigidity the long-term strength limit exceeds greatly the residual strength.

The transition of landslide body into the translimiting state has been investigated. When the average shear stress on the potential displacement surface is only a little more than the limit of the long-term strength, the long-term decrease of the slope steepness occurs in the plastic clays still in the prelimiting state with no conspicuous display of slide displacements. In rigid clays the deformation takes place in the translimiting state. It occurs as a distinct slide displacement and is more active if the difference between the long-term strength limit and residual strength grows wider. If a shear stress exceeds considerably the long-term strength a decrease of slope steepness occurs in the plastic clays too as a distinct slide displacement. However, the brittle soil failure does not occur suddenly at the beginning of the slide cycle. In the slopes of rigid clays deformations in the translimiting state will develop at a great velocity and catastrophe will result if the shear stress surpasses substantially the residual strength.

ЧРЦЧЦЦПРЗПРЦ — ЛИТЕРАТУРА — REFERENCES

- Гольдштейн М. Н. и Бабицкая С. С., 1959. Методика определения длительной прочности грунтов. «Основания, фундаменты и механика грунтов», № 4, 11 — 14.
Гольдштейн М. Н., Туровская А. Я. и Тимофеева Т. А., 1969. О длительной устойчивости оползневых склонов. Сб. «Вопросы геотехники», № 16, «Будівельник», 45 — 53.
Гольдштейн М. Н. и Туровская А. Я., 1972. Развитие оползневых смещений в запреломном состоянии. Инженерно-геологические свойства глинистых пород и процессы в них. Труды Международного Симпозиума. Изд. МГУ, 110 — 119.
Туровская А. Я. и Тимофеева Т. А., 1965. Условия развития оползней в полускальных и скальных породах и особенности их изучения. Сб. «Вопросы геотехники», № 9, «Транспорт», 37 — 49.

¹ Reported at the Symposium on the Theory of Landslide Process in Dillan, Armenia in May, 1973.

² Head, Chair of Basis and Foundation and Laboratory of Soil Mechanics

³ Head, Landslide Section, Laboratory of Soil Mechanics

* Institute of Engineers of Railway Transportation, Dnepropetrovsk