

627.743

DOI: 10.37890/jwt.vi72.306

Проектные решения при устройстве дноуглубительных прорезей

А.А. Калашников

ORCID: 0000-0002-5569-1596

*Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, Российская Федерация*

Аннотация. Важной задачей при производстве дноуглубительных и выправительных работ является вопрос устойчивости дноуглубительных прорезей. Рассмотрен опыт исследований вопроса, выполнен краткий обзор литературы. Обоснованы необходимость разработки проектных решений при производстве дноуглубительных прорезей, необходимость повышения устойчивости прорезей. Проанализированы натурные данные при производстве путевых работ на перекатах реки Обь. Предложены проектные решения при устройстве дноуглубительных прорезей, направленные на повышение их устойчивости. Намечены пути дальнейших исследований вопроса повышения устойчивости дноуглубительных прорезей.

Ключевые слова: дноуглубительные работы, выправительные работы, дноуглубительные прорези, устойчивость дноуглубительных и судоходных прорезей, трассирование дноуглубительных прорезей, конфигурации дноуглубительных прорезей, заносимость прорезей

Design solution for the dredging slots production

Arsenii A. Kalashnikov

ORCID: 0000-0002-5569-1596

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. The article discusses the issue of design solution for the dredging slots production in the Ob River section. An important challenge in the dredging and straightening works production is the issue of the dredging slots stability. The experience of researching the issue is considered, a brief review of the literature is presented. The necessity of developing design solution for the dredging slots production, necessity of dredging slots stability. Field data were obtained and analyzed in the course of track works on the Ob River cripples. A Design solution for the dredging slots production is proposed. The ways of further research of the dredging slots stability issue are outlined.

Keywords: Dredging, River Training Work, Dredging Slots, Stability of Dredging and Shipping Slots, Dredging Slots Routing, Dredging Slots Configuration, Dredging Slots Drift.

Введение

Водный транспорт в целом и речной транспорт в частности, обладая рядом существенных преимуществ в сравнении с другими видами транспорта, являются важным звеном в сети транспортных коммуникаций России. Особо важное значение он имеет для районов Сибири. В условиях перестройки экономики страны значение внутренних водных путей и перевозок по ним еще более возрастает, поскольку доставка грузов речным транспортом требует меньших удельных затрат. В свою очередь, нормальное функционирование транспорта внутренних водных путей

невозможно без осуществления комплекса путевых работ и, прежде всего, дноуглубительных работ. Важной задачей при поддержании существующих или увеличении габаритных размеров судового хода является эффективное производство дноуглубительных и выправительных работ.

В настоящее время в разряд актуальных встают задачи проектирования прежде всего дноуглубительных работ, так как сложившиеся сейчас условия производства путевых работ выдвигают требования по сокращению объемов и повторности производства дноуглубительных работ.

Создание условий, направленных на повышение устойчивости дноуглубительных прорезей, может позволить решить такую задачу. Здесь важное значение имеет сохранность после разработки дноуглубительных прорезей при проведении путевых работ транзитных глубин на перекатах. Опыт производства дноуглубительных работ и развитие теории устойчивости русел рек, накопленные к настоящему времени, позволяют получить методы расчетов обоснования движения речных наносов и устойчивости судоходной трассы в целом [1, 2, 3], оставляя открытыми некоторые вопросы, такие как влияние конфигурации дноуглубительных прорезей на повышение их устойчивости, а также оценка устойчивости прорезей.

Вопросом устойчивости русел рек в целом и, в частности, заносимости карьеров и дноуглубительных прорезей занимались различные исследователи. Здесь следует отметить имеющие наибольшее значение работы В.М. Ботвинкова, А.С. Губкина, Б.Ф. Снищенко, А.М. Лавыгина, К.В. Гришанина и других.

Б.Ф. Снищенко, имея данные, полученные для рек европейской части СССР, показал, что заносимость прорезей некоторым образом зависит от характера грядового движения наносов. Однако результаты интерпретировались при производстве путевых работ на реках европейской части России и в следствие их гидроморфологических особенностей применимы ограниченно.

В.М. Ботвинковым и А.С. Губкиным также предприняты успешные попытки найти связь между заносимостью прорези и специфическими особенностям судоходных рек.

Интерес представляют исследования А.М. Лавыгина, которым были изучены процессы поперечной заносимости прорези. Отмечая качество предложенной физической модели занесения, необходимо отметить ряд ограничений в предлагаемых моделях: не учитываются положение оси прорези в потоке, гидрологический режим водного пути, морфометрическая характеристика русла реки, морфологические изменения русла реки, надвижение русловых форм на прорезь и некоторые прочие.

Отмечая достигнутые успехи в исследованиях в виде полученных представлениях о том, что геометрические размеры гряд, механизм образования и скорость их перемещения, гидравлические характеристики потока во многом определяют процесс потери глубины в дноуглубительной прорези [4], необходимо отметить, что полного комплекса рекомендаций по повышению устойчивости дноуглубительных прорезей разработано не было к настоящему времени, а существующие же предложения являются разрозненными

При всех достоинствах существующих методов оценки устойчивости остается возможность для дальнейшего их развития и совершенствования, а также разработки новых. Анализ сложившейся ситуации показывает необходимость не только разработки методов прогнозирования устойчивости прорезей, но и разработки комплекса рекомендаций по обоснованию выбора конфигурации дноуглубительных прорезей, имеющей максимальную устойчивость к потере транзитных глубины и ширины и изменению планового очертания и положения плане.

Кроме того анализ устойчивости прорезей, выполняемых на проведения путевых работ на плесе «Новосибирск - устье Томи», имеющих простейшую конфигурацию, указывает на необходимость повышения их устойчивости.

Целью исследования является разработка рекомендаций в области проектных решений при трассировании дноуглубительных прорезей и выбора их конфигурации на реках Обского бассейна с целью достижения их максимальной устойчивости.

Материалы и методы

Конфигурацией дноуглубительной прорези будем называть комплекс следующих ее характеристик: плановые очертания, положение в плане, геометрические размеры, форма поперечного сечения, наличие вспомогательных сооружений, наличие наносорегулирующих траншей и емкостей.

Для достижения поставленной цели, т.е. получения рекомендаций по проектным решениям при производстве дноуглубительных прорезей, необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить анализ натуральных данных о деформации дна в дноуглубительных прорезях при производстве путевых работ. Основой для такого анализа послужили данные, полученные на реках Обского бассейна, в том числе на перекатах плеса «Новосибирск - устье Томи» реки Обь;
- выполнить гидравлическое моделирование для получения характеристик речного потока при устройстве дноуглубительной прорези.

С учетом полученных расчетных характеристик для модельного потока был выполнен проект размещения модели (рисунок 1) на лабораторной площадке кафедры водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений с использованием гидравлического лотка прямоугольного сечения (таблица 1).

Таблица 1

Геометрические характеристики гидравлического лотка.

Геометрические характеристики гидравлического лотка	Значение
Длина, м	27
Ширина, м	1,3
Высота, м	0,6

Определяющими критериями для обеспечения динамического и геометрического подобия модели и натуре являются критерии Фруда (Fr) и Рейнольдса (Re)[5]. На гидравлической модели обеспечивалось априори условие $Re_M > Re_{кр}$, а также в основу расчетов для сравнения полагалось условие $Fr = idem$. Помимо этого, модель рассчитана в жестком варианте с 4-кратным искажением рельефа, допускаемым как показывает опыт отечественных и многих зарубежных лабораторий [6]: горизонтальный масштаб модели 1:100, вертикальный масштаб — 1:25. Тарировка модели производилась при модельном расходе воды соответствующем расходу 1610 м³/с участков реки, при изысканиях на которых были получены натурные данные. Измерение кинематических характеристик потока производилось в соответствии с общепринятыми в практике методиками лабораторных исследований [7].

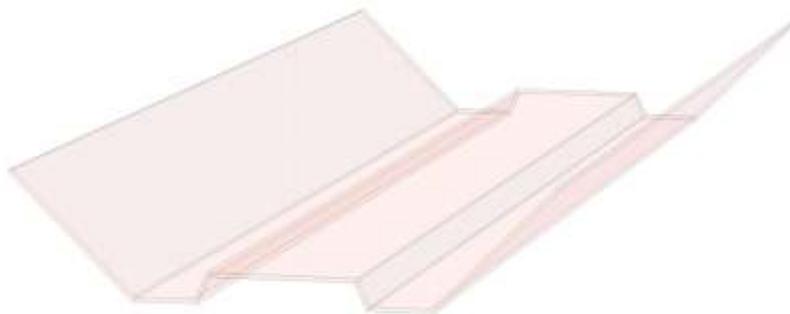


Рис. 1. Геометрия жесткой неразмываемой модели с дополнительными боковыми траншеями

Результаты

Натурные данные о потере глубины в прорези после окончания работ по ее производству, полученные кафедрой водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений, говорят о необходимости повышения продольной устойчивости прорези.

В результате обработки натурных данных нами были получены зависимости изменения транзитной глубины по оси прорези от времени после ее разработки [8]. На графике (рисунок 2) по оси ординат откладывалась относительная глубина в виде:

$$T_{\text{отн}} = \frac{T}{T_{\Gamma}}, \quad (1)$$

где T - минимальная глубина по оси прорези от проектного уровня, м;

T_{Γ} - гарантированная глубина, м. Принималась равной 2,2 м при выполнении путевых работ.

По оси абсцисс откладывалось относительное время:

$$t_{\text{отн}} = \frac{t}{24}, \quad (2)$$

где t - время после разработки прорези, ч.

Потеря глубины в этом случае возникает ввиду образования донных гряд и продвижения на прорезь микроформ рельефа дна и составляет до 10% от гарантированной.

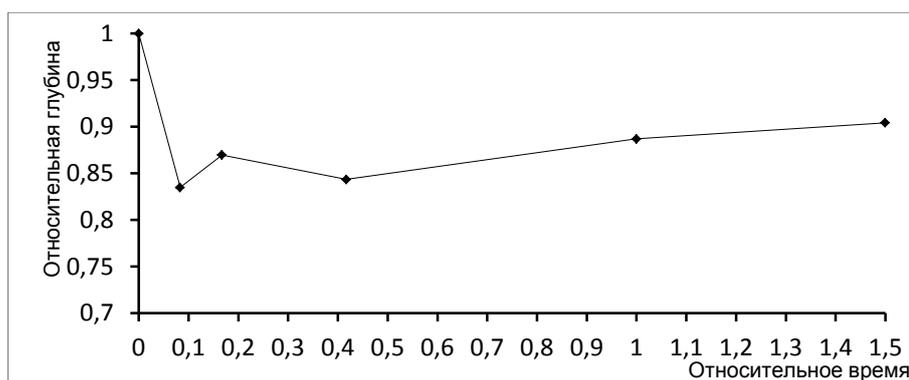


Рис. 2. Изменение судоходной глубины по оси прорези по данным натурных наблюдений

В свою очередь, гидравлическая модель показала увеличение расхода, средних скоростей и придонных скоростей течения модельного потока в прорези, выполненной с переуглублением в боковых траншеях, в сравнении с прорезями, имеющими прямоугольное живое сечение.

В итоге средние скорости на вертикали между отметками рабочего дна прорези и свободной поверхности потока (рисунок 3) увеличились на 8,9 %. В таблице 2 приведены полученные в результате измерений значения скоростей модельного потока.

Таблица 2

Измеренные значения скоростей модельного потока в прорези.

Показатель	Модель прорези без переуглубления боковых траншей	Модель прорези с переуглублением боковых траншей
Средняя скорость модельного потока на вертикали, м/с	0,225	0,24
Придонные скорости модельного потока, м/с	0,115	0,135

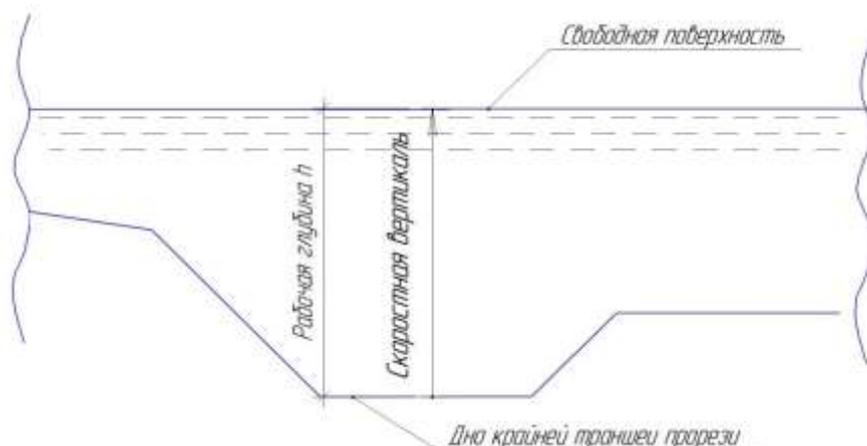


Рис. 3. Положение скоростной вертикали в поперечном сечении прорези

В результате анализа натуральных данных и информации, полученной в результате моделирования, становится возможным предположить, что наиболее выгодными способами повышения устойчивости прорези являются:

при обеспечении поперечной устойчивости [9] - создание особых емкостей для аккумуляции и выноса грунта за пределы прорези в продольном направлении, т.е. разработки дополнительных боковых траншей (рисунок 1);

при обеспечении продольной устойчивости - выполнение прорези с переуглублением для запаса на потерю транзитной глубины.

Обсуждение

Одним из способов повышения устойчивости является рациональное переуглубление, которое может быть обосновано с помощью полученной нами методики определения потери глубины и ширины в прорези.

При этом недостаточная величина переуглубления с запасом на заносимость очевидно не дает результатов по повышению устойчивости. Значительно большая величина потребует дополнительных затрат на производство дноуглубительных работ, что противоречит задаче о снижении издержек при производстве прорезей. Таким образом, необходимо было получить такую рациональную величину переуглубления, которая одновременно позволит повысить устойчивость прорези и избежать высоких экономических затрат.

Анализ изменения судоходной глубины говорит, что прорезь после ее производства теряет до 10% от гарантированной глубины в течение 36 часов.

Величину переуглубления, исходя из вышеуказанных условий, можно будет определять простым соотношением:

$$T_{\text{пер}} = 0,1 \cdot T_{\text{г}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{г}}$ - гарантированная глубина, м. При разработке прорезей на перекатах плеса «Новосибирск - устье Томи» реки Обь принимались равными 2,2 м.

Для повышения устойчивости прорезей нами рекомендуется вместо назначения повторных работ осуществлять переуглубление в прорези на величину, указанную

выше. Это позволит избежать назначения повторных работ на перекате после производства работ.

Вторым возможным проектным решением на данном этапе наших исследований считаем создание дополнительных боковых траншей, аккумулирующих осыпающийся грунт и одновременно увеличивающих пропускную способность прорези в отношении влекомых наносов.

Как видно из проведенных изысканий, транзитная глубина снижается уже в течение 2...8 часов после окончания работ по производству прорези, выполненной простой конфигурации, т.е. без вспомогательных сооружений, с прямоугольным живым сечением. Актуальным становится вопрос о выборе рациональной величины переуглубления прорезей, имеющих дополнительные элементы, такие как боковые траншеи, позволяющей добиваться высокой устойчивости прорези, но затрачивать на производство дноуглубительных работ меньшее количество ресурсов. Стоит отметить также и необходимость создания размываемой лабораторной модели дноуглубительной прорези для исследования процесса заносимости с учетом выбора проектных решений полученных выше.

Выводы

В результате выполненных исследований, на основе обработки натуральных данных с учетом опыта, накопленного кафедрой водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений Сибирского государственного университета водного транспорта, привлечения натуральных данных и данных, полученных в результате работы с гидравлической моделью, нами предлагаются некоторые проектные решения по устройству дноуглубительной прорези: создание вспомогательных наносорегулирующих траншей, выполнение рационального переуглубления с учетом запаса на заносимость.

Дальнейшие наши исследования будут сосредоточены на разработке рекомендаций по выбору оптимальной конфигурации дноуглубительной прорези путем создания плановой компоновки вспомогательных сооружений и расположения отвалов. Для решения этой задачи потребуются привлечение дополнительных экспериментальных данных, в том числе с использованием размываемой модели в лабораторных условиях.

Список литературы

1. Alekseevsky NI, Berkovich KM, Chalov RS (2008) Erosion, sediment transportation and accumulation in rivers. *International Journal of Sediment Research* 23(2). doi: 10.1016/S1001-6279(08)60009-8
2. Borshchenko EV, Chalov RS (2010) Channel-forming water flow rates and morphodynamics of river channels in the Russian part of the Amur basin. *Geography and Natural Resources* 31(2). doi: 10.1016/j.gnr.2010.06.010
3. Sitnov AN, Voronina YE, Shestova MV (2020) Channel Deformations Forecast And Features Of Floodplain Quarries Of Non-Metallic Construction Materials Development In Meandering Riverbeds Based On Safe Navigation Conditions (On The Example Of The Belaya River). *Russian Journal of Water Transport* (65):179-188. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.138>
4. Ботвинков В.М. К определению устойчивости землечерпательных прорезей. / Труды Новосибирского института инженеров водного транспорта, вып. 139, Новосибирск: 1979. -с. 126 - 129.;
5. Знаменская Н.С. Гидравлическое моделирование русловых процессов. СПб., 1992. 239 с.
6. Shen H.W. Modeling of rivers. № 9. 1976. 745 p.

7. Клавен А. Б., Копалиани З. Д., Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса- СПб., 2011. - 543 с.;
8. Калашников А.А. Оценка устойчивости дноуглубительных прорезей на Новосибирском плесе / А.А. Калашников // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока - Новосибирск.: СГУВТ, 2018. - с. 41-43.
9. Лавыгин А. М. Заносимость дноуглубительных прорезей на прямолинейных участках рек и пути ее снижения: автореф. дис. канд. наук. — Л.: ЛИВТ, 1988.

References

1. Alekseevsky NI, Berkovich KM, Chalov RS (2008) Erosion, sediment transportation and accumulation in rivers. International Journal of Sediment Research 23(2). doi: 10.1016/S1001-6279(08)60009-8
2. Borshchenko EV, Chalov RS (2010) Channel-forming water flow rates and morphodynamics of river channels in the Russian part of the Amur basin. Geography and Natural Resources31(2). doi: 10.1016/j.gnr.2010.06.010
3. Sitnov AN, Voronina YE, Shestova MV (2020) Channel Deformations Forecast And Features Of Floodplain Quarries Of Non-Metallic Construction Materials Development In Meandering Riverbeds Based On Safe Navigation Conditions (On The Example Of The Belaya River). Russian Journal of Water Transport (65):179-188. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.138>
4. Botvinkov V.M. Postroenie planov techenii na zatrudnitel'nykh uchastkakh rek. / Trudy Novosibirskogo instituta inzhenerov vodnogo transporta, vyp. 139, ed. O.I. Gordeev, Novosibirsk, NIIZHT Publ., 1979. -pp. 30 - 38. (InRuss)
5. Znamenskaya N.S. Gidravlichesкое моделирование ruslovykh protsessov. SPb., 1992. 239 p. (InRuss)
6. Shen H.W. Modeling of rivers. № 9. 1976. 745 p.
7. Klaven A. B., Kopaliani Z. D., Ekhspеrimental'nye issledovaniya i gidravlichesкое моделирование rechnykh potokov i ruslovogo protsessа- SPb., Nestor-Istoriya Publ., 2011. - 543 p. (InRuss).
8. Kalashnikov A.A. Otsenka ustoichivosti dnouglubitel'nykh prorozey na Novosibirskom plesе [Dredging cuts stability estimate on Novosibirsk river reach] Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka - Novosibirsk.: SGUVT, 2018. - s. 41-43. (InRuss). https://www.ssuwt.ru/images/files/nauchnye-izdaniya/2_2018.pdf
9. Lavygin A. M. Zanosimost' dnouglubitel'nykh prorozey na pryamolineinykh uchastkakh rek i puti ee snizheniya: avtoref. dis. kand. nauk. — L.: LIVT, 1988. (InRuss)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Калашников Арсений Александрович,

старший преподаватель кафедры Водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: aakalashnikovvipgts@yahoo.com

Arsenii A. Kalashnikov, senior lecturer of the Department of Water Surveys, Ways and Hydrotechnical Construction, Siberian State University of Water Transport, 33, Shchetinkina st., Novosibirsk

Статья поступила в редакцию 16.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022
Received 16.06.2022; published online 20.09.2022.