

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИН
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СМАЗОЧНО-ЗАПРАВОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙA.V. Khabardina, M.V. Chubareva,
V.N. KhabardinMATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCESS OF CARS MAINTENANCE UNDER THE PERFORMANCE
OF LUBRICANT AND FUELING OPERATIONS

Хабардина А.В. – асп. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный. E-mail: AnnaHa3992@yandex.ru

Чубарева М.В. – канд. техн. наук, доц., заведующая научно-информационным отделом, ст. науч. сотр. научно-исследовательской лаб. «Ресурсосберегающие технологии эксплуатации техники» каф. эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный. E-mail: chubarevamarina@rambler.ru

Хабардин В.Н. – д-р техн. наук, проф. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный. E-mail: rector@igsha.ru

Khabardina A.V. – Post-Graduate Student, Chair of Operation of Machine and Tractor Park, Health and Safety and Vocational Education, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, S. Molodyozhny. E-mail: AnnaHa3992@yandex.ru

Chubareva M.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Research and Information Department, Senior Staff Scientist, Research Lab. "Resource-Saving Technologies of Operation of Equipment", Chair of Operation of Machine and Tractor Park, Health and Safety and Vocational Education, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, S. Molodyozhny. E-mail: chubarevamarina@rambler.ru

Khabardin V.N. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Operation of Machine and Tractor Park, Health and Safety and Vocational Education, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, S. Molodyozhny. E-mail: rector@igsha.ru

В качестве оценочного показателя процесса технического обслуживания (ТО) принята удельная стоимость функционирования i -объекта (средства ТО) – руб. на операцию. При этом под операцией понимается известное в науке и практике определение: законченная часть технического обслуживания, представляющая совокупность приемов, выполняемых на одном рабочем месте одним или группой исполнителей, установленными для выполняемой операции средствами технического обслуживания. В данном случае удельная стоимость функционирования представляет собой удельные затраты обеспечения надежности объекта во всем жизненном цикле и является показателем качества изготовления, эксплуатации, ремонта и хранения объекта. На первом этапе был определен показатель оценки совершенствования и выбора средств технического обслуживания и при этом найдена единица его измерения. Математическое описание процесса обслуживания представлено в виде алгебраической суммы его элементов

(удельной стоимости приобретения средства, использования его по назначению, хранения, технического обслуживания и ремонта, поверки, утилизации и спецодежды; удельных издержек, обусловленных нарушением требований охраны окружающей среды при техническом обслуживании машин в поле – при попадании топливно-смазочных материалов в почву). Процесс обслуживания был представлен в виде алгебраической суммы его элементов, причем в двух вариантах: для восстановления и невозстановления объектов. По каждому выделенному элементу была найдена функциональная связь входных показателей (одного или нескольких) с одним и тем же выходным оценочным показателем. Каждая функция представлена в виде искомого математического описания процесса ТО. Результаты исследования могут быть положены в основу совершенствования смазочно-заправочных средств технического обслуживания машин.

Ключевые слова: смазочно-заправочные операции, средства технические, процесс технического обслуживания.

As an estimated indicator of maintenance process (MP), specific cost of the operation of i-facility (MP means) – rubles for the operation is taken. Wherein, the operation is understood as a well-known in science and practice definition: a complete part of the maintenance service, representing the set of techniques performed on one working place by a person or a group of performers determined for the operation performed by technical facilities. In this case, specific cost of the operation of the facility is a unit cost of ensuring the reliability of the object throughout life cycle and is an indicator of the quality of manufacturing, operation, repair and storage of the object. At the first stage, the indicator of the assessment of the improvement and the choice of technical maintenance was determined, and the unit of its measurement was found. Mathematical description of service process was presented in the form of algebraic sum of its elements (unit cost of the acquisition of the funds, use it for its intended purpose, storage, maintenance and repair, verification, recycling and overalls; specific costs due to the violation of environmental protection requirements for maintenance of machines in the field, when the fuel and lubricants enter the soil). Service process was presented in the form of algebraic sum of its elements, and in two options: for recoverable and non-recoverable objects. For each selected element, functional connection of input indicators (one or several) with the same output evaluation index was found. Each function was expressed in the form of required mathematical description of MP process. The results of the research can be used as the basis for the improvement of lubricating and refueling facilities for machines maintenance.

Keywords: lubricant and filling operations, technical means, maintenance process.

Введение. Прежде чем приступить к изложению материала, дадим необходимые пояснения, которые касаются предмета нашего исследования.

Процесс – это ход, развитие какого-нибудь явления, последовательная смена состояний в развитии чего-нибудь [7]. С учетом этого под процессом технического обслуживания будем понимать совокупность операций, выполняемых при техническом обслуживании машины, например трактора, в установленной последовательности.

Операция технического обслуживания (ТО) – законченная часть технического обслуживания изделия, представляющая совокупность приемов, выполняемых на одном рабочем месте одним или группой исполнителей установленными для осу-

ществляемой операции средствами технического обслуживания [5]. При этом операции обслуживания машин подразделяют на семь основных групп: моечно-очистительные, контрольно-диагностические, смазочно-заправочные, топливозаправочные, регулировочные, крепежные и консервационные. Названные группы операций положены в основу классификации средств ТО машин [1, с. 168].

Смазочно-заправочные операции (СЗО) ТО тракторов – это смазочно-заправочные работы [4], выполняемые с применением (или в среде) топливно-смазочных материалов (ТСМ). В состав этих операций также входят сливные операции – работы [4], осуществляемые при сливе масла из картерных полостей, преимущественно при его замене в процессе ТО, а также при сливе отстоя топлива из полостей топливных фильтров и баков при их обслуживании. Работа в данном случае понимается как производственная деятельность по созданию или обработке чего-нибудь [7], например ремонтные или ремонтно-обслуживающие работы [10], а в нашем исследовании – работы по техническому обслуживанию машин. И еще. Смазочно-заправочные операции не следует путать с топливозаправочными, к которым относятся операции по заправке машин топливом, выполняемые при использовании как передвижных, так и стационарных средств заправки.

Параметры процесса – показатели, характеризующие те изменяющиеся физические величины или технико-экономические показатели (параметры), которые определяют моделируемый процесс [5].

Процесс ТО в совокупности представляет собой сложную человеко-машинную систему (ЧМС), элементами которой являются: человек, обслуживаемая машина, техническое средство обслуживания и внешняя среда.

Смазочно-заправочные средства ТО – средства эксплуатации, предназначенные для выполнения смазочно-заправочных операций. Данное определение сформулировано в соответствии с источником [5]: средства ТО – средства эксплуатации, предназначенные для технического обслуживания изделий.

Технология ТО в общем понимании – это перечень (список) операций, выполняемых в установленной последовательности и с применением предписанных средств ТО [9, с. 23]. В соответствии с этим технология СЗО – это перечень (список) элементов операций (технологических приемов), выполняемых в установленной последовательности и с применением предписанных смазочно-заправочных средств ТО. В процессе совершенствования технологии и средств при ТО применяют как предписанные руководства по эксплуатации машин средства ТО, так и соответствующие им по назначению экспериментальные приборы.

Цель исследования. Найти математическое описание процесса ТО машин при выполнении смазочно-заправочных операций.

Задачи исследования: определить показатель оценки совершенствования и выбора средств ТО и единицу его измерения; найти функциональную связь входных показателей с выходным математического описания процесса ТО.

Объект исследования – процесс технического обслуживания машин с учетом проведения смазочно-заправочных операций.

Методы исследования. На первом этапе был определен показатель оценки совершенствования и выбора средств ТО и при этом найдена единица его измерения. Одновременно с этим на основе известного определения операции ТО было дано уточненное понятие операции, учтенной в единице измерения оценочного показателя. Далее процесс обслуживания был представлен в виде алгебраической суммы его элементов, причем в двух вариантах: для восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов. На завершающем этапе по каждому элементу была найдена функциональная связь входных показателей (одного или нескольких) с выходным, которая представлена в виде искомого математического описания процесса ТО.

Результаты и их обсуждение. В качестве показателя оценки совершенствования и выбора примем удельную стоимость операции $C_{\Phi i}$ при применении i -объекта (технического средства ТО), выраженную в рублях на операцию.

Иначе этот показатель также можно назвать удельной стоимостью функционирования i -объекта. При этом под функционированием объекта обычно понимают выполнение предписанного объекту алгоритма функционирования при применении объекта по назначению [5]. С учетом этого получим следующее определение оценочного показателя: удельная стоимость функционирования i -объекта $C_{\Phi i}$ – это удельная стоимость операции при применении i -объекта, выраженная в рублях на операцию. На наш взгляд, данное определение показателя более полно отражает его физический смысл, и поэтому (также для однозначности изложения и понимания материала) в дальнейшем будем оперировать только им.

Условимся также, что под операцией здесь и далее будем понимать законченную часть технического обслуживания изделия, представляющую совокупность приемов, выполняемых на одном рабочем месте одним или группой исполнителей установленными для выполняемой операции средствами технического обслуживания [5].

Итак, найдем математическое описание удельной стоимости функционирования i -объекта $C_{\Phi i}$ в общем виде. Сделаем это в следующем порядке.

Представим $C_{\Phi i}$ в виде показателя интегрального качества [2, 6, 8]

$$C_{\Phi i} = \sum_{l=1}^N C_{li}, \quad (1)$$

где C_{li} – совокупность (N) технико-экономических показателей l по i -объекту. В данном случае удельная стоимость функционирования $C_{\Phi i}$ представляет собой удельные затраты обеспечения надежности объекта во всем жизненном цикле и является показателем качества изготовления, эксплуатации, ремонта и хранения объекта [5].

Тогда, по аналогии с [2, 6, 8] и в соответствии с (1), показатель $C_{\Phi i}$ для технических средств обслуживания (ТСО) будет иметь вид:

а) для невосстанавливаемых ТСО-объектов

$$C_{\Phi i}^H = C_{\Pi i} + C_{\text{И}i} + C_{\text{Х}i} + C_{\text{М}i} + C_{\text{У}i} + C_{\text{ОД}i} + I_{\text{Э}i}; \quad (2)$$

б) для восстанавливаемых ТСО-объектов

$$C_{\Phi i}^B = C_{\Pi i} + C_{\text{И}i} + C_{\text{ТОР}i} + C_{\text{Х}i} + C_{\text{М}i} + C_{\text{У}i} + C_{\text{ОД}i} + I_{\text{Э}i}, \quad (3)$$

где $C_{\Pi i}$, $C_{\text{И}i}$, $C_{\text{Х}i}$, $C_{\text{ТОР}i}$, $C_{\text{М}i}$, $C_{\text{У}i}$, $C_{\text{ОД}i}$ – удельная стоимость (в руб. на операцию) приобретения средства, использования его по назначению, хранения, технического обслуживания и ремонта (ТОР), проверки, утилизации и спецодежды; $I_{\text{Э}i}$ – удельные издержки (в руб. на операцию), обусловленные нарушением требований охраны окружающей среды при ТО машин в поле – при попадании топливно-смазочных материалов в почву [4].

Удельная стоимость приобретения ТСО (i -объекта)

$$C_{\Pi i} = \frac{Z_{\Pi i}}{N_{\text{О}i}}, \quad (4)$$

где $Z_{\Pi i}$ – затраты на приобретение, включающие в себя стоимость i -объекта, затраты на его транспортирование и подготовку к использованию по назна-

чению, руб.; N_{Oi} – число операций обслуживания за срок службы i -объекта при применении этого объекта по назначению, ед.

Удельная стоимость использования i -объекта по назначению

$$C_{Иi} = t_{Oi} (C_{Ti} + C_{ИИi} + C_{ДВСi}) + C_{МОi} + t_{Эi} N_{Эi} C_{Э}, \quad (5)$$

где t_{Oi} – средняя продолжительность операции обслуживания; C_{Ti} – часовая тарифная ставка специалиста, выполняющего операцию; $C_{ИИi}$ – стоимость использования в течение одного часа производственного помещения в расчете на один трактор; $C_{МОi}$ – стоимость материалов, расходуемых при операции (при применении i -объекта); $t_{Эi}$ – продолжительность работы электроустановок, используемых при операции; $N_{Эi}$ – мощность электроустановок, кВт; $C_{ДВСi}$, $C_{Эi}$ – часовая стоимость работы двигателя и стоимость одного кВт·ч электроэнергии.

Удельная стоимость хранения i -объекта

$$C_{Хi} = \frac{З_{Хi} L_i}{N_{Oi}}, \quad (6)$$

где $З_{Хi}$ – средние за год затраты на хранение i -объекта, руб.; L_i – срок службы i -объекта, лет; $З_{Хi} L_i$ – суммарные в течение срока службы i -объекта затраты на хранение, руб.

Удельная стоимость технического обслуживания и ремонта (ТОР) i -объекта – по аналогии с (6)

$$C_{ТОРi} = \frac{З_{ТОРi} L_i}{N_{Oi}}, \quad (7)$$

где $З_{ТОРi}$ – средние за год затраты на ТОР i -объекта, руб.; $З_{ТОРi} L_i$ – суммарные в течение срока службы i -объекта затраты на ТОР, руб.

Удельная стоимость проверки i -объекта – по аналогии с (6)

$$C_{Ми} = \frac{З_{Ми} L_i}{N_{Oi}}, \quad (8)$$

где $З_{Ми}$ – средние за год затраты на проверку i -объекта, руб.; $З_{Ми} L_i$ – суммарные в течение срока службы i -объекта затраты на проверку, руб.

Удельная стоимость утилизации ТСО (i -объекта) – по аналогии с (4)

$$C_{Yi} = \frac{З_{Yi}}{N_{Oi}}, \quad (9)$$

где $З_{Yi}$ – затраты на утилизацию i -объекта, руб.

Удельная стоимость спецодежды при применении i -объекта может быть вычислена по формуле

$$C_{ОДи} = \frac{З_{ОД} N_{ОДи} \gamma_{ОДи}}{N_{Oi}}, \quad (10)$$

где $З_{ОД}$ – стоимость одного комплекта спецодежды, руб.; $N_{ОДи}$ – число комплектов спецодежды, израсходованных оператором за срок службы i -объекта, шт.; $\gamma_{ОДи}$ – коэффициент, учитывающий повышение расхода спецодежды в связи с воздействием на нее ТСМ при применении i -объекта.

При этом

$$N_{ОДи} = \frac{L_i}{L_{ОД}}, \quad (11)$$

где L_i , $L_{ОД}$ – срок службы i -объекта и спецодежды, лет. После подстановки (11) в (10) получим описание $C_{ОДи}$ в следующем окончательном виде:

$$C_{ОДи} = \frac{З_{ОД} L_i \gamma_{ОДи}}{N_{Oi} L_{ОД}}. \quad (12)$$

Удельные издержки $И_{Эi}$, обусловленные нарушением требований охраны окружающей среды при ТО машин в поле (попаданием ТСМ в почву) с применением i -объекта (в руб. на операцию), определим следующим образом.

На первом этапе найдем величину экологического ущерба. В общем виде экологический ущерб от загрязнения земель определяется по формуле [3]

$$Y_T = H_C S K_{Э} K_{П} K_{Хi}, \quad (13)$$

где H_C – норматив стоимости земель, руб/га или руб/м²; S – площадь почв и земель, сохраненная от деградации за отчетный период времени в результате проведенных природоохранных мероприятий, га; $K_{\text{Э}}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории; $K_{\text{П}}$ – коэффициент для особо охраняемых территорий; $K_{\text{Хн}}$ – повышающий коэффициент за предотвращение (ликвидацию) загрязнения земель несколькими (n) химическими веществами.

Приведенное выражение (13) адаптируем для решения нашей задачи. Для этого найдем S по формуле

$$S_{O_i} = \frac{V_{\text{ТСМ}i}}{V_{\text{П}}}, \quad (14)$$

где S_{O_i} – площадь почв и земель, подверженная деградации при выполнении операции с применением i -объекта, руб/м²; $V_{\text{ТСМ}i}$ – средняя масса ТСМ в расчете на операцию, поступающая в почву при ее проведении с использованием i -объекта, кг; $V_{\text{П}}$ – предельная масса ТСМ, достаточная для того, чтобы привести к полной деградации почву на площади 1 м², кг/м².

Теперь подставим (14) в (13) и получим удельные издержки $I_{\text{Э}i}$, обусловленные попаданием ТСМ в почву

$$I_{\text{Э}i} = H_C S_{O_i} K_{\text{Э}} K_{\text{П}} K_{\text{Хн}}, \quad (15)$$

или

$$I_{\text{Э}i} = H_C \frac{V_{\text{ТСМ}i}}{V_{\text{П}}} K_{\text{Э}} K_{\text{П}} K_{\text{Хн}}. \quad (16)$$

Таким образом, все слагаемые удельной стоимости функционирования i -объекта $C_{\text{Ф}i}$, уравнений (2) и (3), найдены. Однако следует отметить, что на данном этапе исследования не представляется возможным дать полное математическое описание показателя $C_{\text{Ф}i}$, так как пока неизвестно число операций обслуживания N_{O_i} за срок службы i -объекта при его применении по назначению.

Выводы

1. В качестве показателя оценки совершенствования и выбора технических средств обслуживания

принята удельная стоимость функционирования i -объекта (средства) – руб. на операцию. При этом под операцией понимается известное в науке и практике определение [5]: законченная часть технического обслуживания изделия, представляющая совокупность приемов, выполняемых на одном рабочем месте одним или группой исполнителей установленными для выполняемой операции средствами технического обслуживания.

2. Для упрощения математического описания процесс обслуживания представлен в виде алгебраической суммы его элементов, причем в двух вариантах: для восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов. По каждому выделенному элементу была найдена функциональная связь входных показателей (одного или нескольких) с одним и тем же выходным оценочным показателем. Каждая функция представлена в виде искомого математического описания процесса ТО.

3. Результаты исследования могут быть использованы в процессе совершенствования представленных смазочно-заправочных средств, при теоретическом обосновании их практического применения, а также при разработке методики экспериментального исследования процессов технического обслуживания машин.

Литература

1. Аллилуев В.А., Ананьин А.Д., Михлин В.М. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка: учеб. пособие. – М.: Агропромиздат, 1991. – 367 с.
2. Альт В.В., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. Информационное обеспечение экспертизы состояния двигателей / под ред. В.В. Альта. – Новосибирск: Изд-во СО РАСХН, 2001. – 220 с.
3. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба / Л.В. Вершкова [и др.]. – М.: Изд-во Госкомэкологии, 1999. – 41 с.
4. ГОСТ 20793-2009. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание; Введ. 2011-05-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 19 с.
5. Надежность и эффективность в технике: справ.: в 10 т. Т. 1. Методология. Организация. Терминология / ред. В.С. Авдудевский. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
6. Немцев А.Е. Система технического сервиса в АПК. – Новосибирск: Изд-во РАСХН, 2002. – 264 с.
7. Ожегов С.И. Словарь русского языка / под ред. Н.Ю. Шведовой. – 21-е изд., перераб. и доп. – М.: Русский язык, 1989. – 928 с.

8. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники: в 2 ч. – М.: Росинформагротех, 2001. – Ч. 2. – 420 с.
9. Хабардин В.Н. Ресурсосберегающие технологии, методы и средства технического обслуживания тракторов. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2009. – 384 с.
10. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Пильщиков Л.М. Система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. – М.: Изд-во ГОСНИТИ, 2001. – 168 с.
- L.V. Vershkova [i dr.]. – М.: Изд-во Goskomjekologii, 1999. – 41 s.
4. GOST 20793-2009. Traktory i mashiny sel'skhozjajstvennyye. Tehnicheskoe obsluzhivanie; Vved. 2011-05-01. – М.: Standartinform, 2011. – 19 s.
5. Nadezhnost' i jeffektivnost' v tehнике: sprav.: v 10 t. T. 1. Metodologija. Organizacija. Terminologija / red. V.S. Avduevskij. – М.: Mashinostroenie, 1986. – 224 s.
6. Nemcev A.E. Sistema tehnicheskogo servisa v APK. – Novosibirsk: Izd-vo RASHN, 2002. – 264 s.
7. Ozhegov S.I. Slovar' russkogo jazyka / pod red. N.Ju. Shvedovoj. – 21-e izd., pererab. i dop. – М.: Russkij jazyk, 1989. – 928 s.
8. Resursosberezhenie pri tehнической jekspluatacii sel'skhozjajstvennoj tehники: v 2 ch. – М.: Rosinformagroteh, 2001. – Ch. 2. – 420 s.
9. Habardin V.N. Resursosberegajushhie tehnologii, metody i sredstva tehнического obsluzhivaniya traktorov. – Irkutsk: Izd-vo IrGSHA, 2009. – 384 s.
10. Chernovanov V.I., Severnyj A.Je., Pil'shnikov L.M. Sistema tehнического obsluzhivaniya i remonta mashin v sel'skom hozjajstve. – М.: Изд-во GOSNITI, 2001. – 168 s.

Literatura

1. Alliluev V.A., Anan'in A.D., Mihlin V.M. Tehnicheskaja jekspluacija mashinno-traktornogo parka: ucheb. posobie. – М.: Agropromizdat, 1991. – 367 s.
2. Al't V.V., Dobroljubov I.P., Savchenko O.F. Informacionnoe obespechenie jekspertizy sostojanija dvigatelej / pod red. V.V. Al'ta. – Novosibirsk: Izd-vo SO RASHN, 2001. – 220 s.
3. Vremennaja metodika opredelenija predotvrashhennogo jekologicheskogo ushherba /



УДК 539.3+532.5

И.О. Богульский

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТА ТОЛСТОГО УПРУГОГО СЛОЯ НА ОСНОВАНИИ ВИНКЛЕРОВСКОГО ТИПА ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТЕНКОЙ

I.O. Bogulsky

THE MODELING OF THE CONTACT OF THICK ELASTIC LAYER BASED ON WINKLER TYPE OF VARIABLE LEVEL AGAINST VERTICAL WALL

Богульский И.О. – д-р физ.-мат. наук, проф. каф. высшей математики и компьютерного моделирования Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: bogul.io@ya.ru

Bogulsky I.O. – Dr. Phys. and Math. Sci., Prof., Chair of Higher Mathematics and Computer Modeling, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: bogul.io@ya.ru

В работе исследуется поведение толстого ледяного поля, плавающего на поверхности воды, вблизи плоского вертикального участка берега или сооружения при перепадах уровня воды в водоеме. Ледяное поле рассматривается в рамках модели плоской деформации как толстая полубесконечная упругая пластина на основании винклеровского типа при различных вариантах контакта с берегом. Натурные наблюдения и эксперименты свидетельствуют, что даже при небольшом, порядка 10 см, понижении уровня воды в водоеме либо повышении его (подпоре) вблизи берега в толстом ледяном поле возникают значительные напряже-

ния. При этом существенным оказывается влияние льда (толщиной порядка метра и более) на береговые сооружения, опоры мостов и др. При понижении уровня воды вблизи берега возникает так называемый «зависающий участок» – область сильно напряженного льда. Дальнейшее изменение уровня воды (20 см и более) обычно приводит к хрупкому разрушению в этой области – возникновению трещин. Оценка этой «опасной зоны» чрезвычайно важна для планирования различных работ со льда, прокладки зимников и т.д. С помощью расчетов, натурных наблюдений и экспериментов возможно моделировать природу контакта ледя-